



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Συστήματα Ενεργειακής Αυτονομίας Πλήρως Εξηλεκτρισμένων Πλοίων



Φοιτητής: Ζανιάς Γεώργιος
ΑΜ: 06956

**Επιβλέπων/ Καθηγητής/
Γεώργιος Βόκας
Καθηγητής**

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, Ιούλιος 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING

Diploma Thesis

Energy Autonomy and All Electric Ships Systems



Student: Georgios Zanias

Registration Number: 06956

Supervisor
Georgios Vokas
Professor of University of West Attica

ATHENS-EGALEO, July 2022

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Γεώργιος Βόκας Καθηγητής	Σταύρος Καμινάρης Καθηγητής	Καλκάνης Κωνσταντίνος (Επ. Καθηγητής)
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Γεώργιος Ζανιάς, Ιούλιος, 2022

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπόγραφα ότι η παρούσα εργασία προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα αποκλειστικά και ότι είμαι ο αποκλειστικός συγγραφέας του κειμένου της.

Η εργασία μου δεν προσβάλλει οποιαδήποτε μορφής δικαιώματα πνευματικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας ή προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής ή λογοκλοπής.

Κάθε βοήθεια που έλαβα για την ολοκλήρωση της εργασίας είναι αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στο κείμενό της. Ειδικότερα, έχω αναφέρει ευδιάκριτα μέσα στο κείμενο και με την κατάλληλη παραπομπή όλες τις πηγές δεδομένων, κώδικα προγραμματισμού Η/Υ, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών που χρησιμοποιήθηκαν, είτε κατά κυριολεξία είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης, και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Επιπλέον, όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης κατά τα διεθνή πρότυπα.

Τέλος δηλώνω ενυπόγραφα ότι αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ημερομηνία: ____08/07/21____

Γεώργιος Ζανιάς

Γ. Ζανιάς

Αφιερώνω την συγκεκριμένη εργασία στην οικογένεια μου που με βοηθά όλα αυτά τα χρόνια στην αδιάκοπη προσπάθεια που κάνω για να πετύχω τους στόχους μου. Για τη βοήθεια και τη συνεχή καθοδήγηση του, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας κ. Γεώργιο Βόκα που με τη βοήθεια του έγινε αυτή η εργασία κατονοητή και ελπίζω και χρήσιμη. Για την πολύ εποικοδομητική συνεργασία, θερμές ευχαριστίες στο κ. Νικόλαο Κορακιανίτη βοηθό εργαστηρίου του κ.Βόκα που με τη πολύτιμη βοήθεια του κατάφερα να ολοκληρώσω τη συγκεκριμένη εργασία. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το κύριο Ανδρέα Αποστολόπουλο γενικού διευθυντή της εταιρείας ILIOFOS SA και αντιπροσώπου της Transfluid Industrial and Marine που με τις γνώσεις του με βοήθησε για την εκπλήρωση του τελευταίου κεφαλαίου μου.

Περίληψη

Γίνεται σαφές ότι τα τελευταία χρόνια, η επίδραση του ανθρώπου στο περιβάλλον πρέπει σιγά σιγά να μειωθεί. Σε όλους τους βιομηχανικούς τομείς γίνεται μία προσπάθεια να ελεγχθεί η εκπομπή ρύπων, σε μία κατεύθυνση περιβαλλοντικής και οικονομικής βιωσιμότητας. Οι αλλαγές στο κλίμα πολλών περιοχών της Γης έχει ήδη ξεκινήσει να συμβαίνει με τις πόλεις που είναι κοντά στη θάλασσα αλλά και συνολικά τις παράκτιες περιοχές να δέχονται τις περισσότερες παρενέργειες της κλιματικής αλλαγής.

Ο στόχος της διπλωματικής μας ήταν να αναδείξουμε τις δυνατότητες του πλήρους εξηλεκτρισμένου πλοίου που θα έχει ως στόχο την λιγότερη δυνατή χρησιμοποίηση καυσαερίων ώστε να μειωθούν οι εκπεμπόμενοι ρύποι με αποτέλεσμα να βελτιωθεί η δυσμενής κατάσταση του περιβάλλοντός μας. Το πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο, μοιάζει ως εκείνη η λύση που θα κάνει τη ναυτιλία μια «πράσινη»βιομηχανική λειτουργία. Επίσης στη παρούσα διπλωματική έγινε έρευνα για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αλλά και από κυψέλες καυσίμου όπου αυτές οι λύσεις για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να επιφέρουν και 100% μείωση των μολυσματικών ρύπων στην ατμόσφαιρα. Επιπρόσθετα μελετήσαμε και μια πολύ δημοφιλή τεχνολογία, την μέθοδο ηλεκτροδότησης ελλιμενισμένων πλοίων από τη ξηρά (cold ironing). Επομένως ο κύριος στόχος αυτής της μελέτης είναι η διερεύνηση του πλήρως εξηλεκτρισμένου πλοίου και της ηλεκτρικής πρόωσης με πηγές ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες δεν θα περιέχουν μηχανές εσωτερικής καύσης ως κύριες μηχανές πρόωσης είτε για την τροφοδότηση των φορτίων ή θα τις έχουν ως βοηθητικές λύσεις πάνω στο εκάστοτε πλοίο.

Στα επόμενα κεφάλαια, παρουσιάζεται μία ιστορική αναδρομή της ηλεκτροπρόωσης αλλά και τη σύγκριση συμβατικών και πλήρως εξηλεκτρισμένων πλοίων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα είδη τροφοδότησης ελλιμενισμένων πλοίων από τη ξηρά αλλά κι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της μελέτης μας που είναι τα είδη ηλεκτροπροωθούμενων πλοίων, η ανάλυση των υβριδικών μοντέλων πρόωσης, τα ηλεκτροπροωθούμενα πλοία με κυψέλες καυσίμου (Fuel cells) αλλά και οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας.

Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται η μοντελοποίηση ενός υβριδικού συστήματος πρόωσης κυψελών καυσίμου και συσσωρευτών το οποίο θα είναι υπεύθυνο και για τη πρόωση του πλοίου (κινεί τους ηλεκτροκινητήρες) αλλά και τις υπόλοιπες λειτουργίες του πλοίου (φορτία), το οποίο περιλαμβάνει κυψέλες καυσίμου, μπαταρίες και διάφορα άλλα συστήματα. Χρησιμοποιήθηκε το Simulink του Matlab για τη συγκεκριμένη μοντελοποίηση αυτού του συστήματος και επίσης προστέθηκαν συγκεκριμένα παραδείγματα εφαρμογής αυτής της τεχνολογίας, δηλαδή εφαρμογές κυψελών καυσίμου με συσσωρευτές που διοχετεύουν ηλεκτρική ενέργεια στη πρόωση του πλοίου (Azipods) αλλά και στα φορτία του.

Λέξεις – κλειδιά

Σύστημα μπαταριών (συστοιχίες), πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο, εκπομπές πλοίων, ηλεκτρική πρόωση, τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας.

Abstract

It is becoming clear that in recent years, human impact on the environment must be gradually reduced. In all industrial sectors an effort is made to control the emission of pollutants, in a direction of environmental and economic sustainability. Climate change in many parts of the world has already begun to happen with cities that are close to the sea but also coastal areas as a whole receiving the most side effects of climate change.

The aim of my diploma was to highlight the capabilities of a fully electrified ship that will aim at the least possible use of exhaust gases to reduce emissions and thus improve the adverse situation of our environment. The fully electrified ship, looks like that solution that will make shipping a “green” industrial operation. Also in this diploma was researched for the production of electricity from renewable energy sources but also from fuel cells where these solutions for electricity can bring 100% reduction of pollutants in the atmosphere. In addition, we studied a very popular technology, the method of electrifying cold ironing ships. Therefore, the main purpose of this study is to investigate the fully electrified ship and the electric propulsion with sources of electricity which will not contain internal combustion engines as main propulsion engines or will have them as auxiliary solutions on the respective ship.

In the following chapters, a historical review of the electric propulsion is presented, as well as the comparison of conventional and fully electrified ships.

The following are the types of land-powered ships and a very important part of our study which are the types of electric vessels, the analysis of hybrid propulsion models, the propulsion vessels with fuel cells but also the energy storage technologies.

In the last chapter the modeling of a hybrid fuel cell and accumulator propulsion system is done which will be responsible for the propulsion of the ship but also the other functions of the ship, which includes fuel cells, batteries and various other systems. Matlab’s Simulink was used for the specific modeling of this system and also specific examples of application of this technology were added, applications of fuel cells with accumulators that deliver electricity to the ship propulsion (Azipods) but also to its loads.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Εικόνων 11

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ 14

1.1	Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας	14
1.2	Σκοπός και στόχοι	14
1.3	Μεθοδολογία	14
1.4	Καινοτομία	15
1.5	Δομή.....	15

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Μετάβαση απο τα συμβατικά πλοία στα πλήρως εξηλεκτρισμένα πλοία 16

2.1.	Ιστορική Αναδρομή Ηλεκτροπρόωσης.....	16
2.2	Περιγραφή πλήρως εξηλεκτρισμένων πλοίων-Ηλεκτρικής πρόωσης.....	17
2.3	Σύγκριση συμβατικών και πλήρως εξηλεκτρισμένων πλοίων.....	21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Υποσυστήματα πλοίων 25

3.1	Είδη τροφοδότησης πλοίων απο την ξηρά	25
3.1.1	Μέθοδος Ηλεκτροδότησης ελλειμενισμένων πλοίων απο την ξηρά (cold ironing)	26
3.2	ISO/IEC/IEEE 80005-1:2012	27
3.3	Παροχή ενέργειας και ανάλυση εξοπλισμού της μεθόδου της ηλεκτροδότησης απο την ξηρά (cold ironing).	28
3.4	Τρόποι Σύνδεσης καλωδίων με τα πλοία.	31
3.5	Εξοπλισμός στα πλοία και Σημαντικές εταιρείες στην μέθοδο της ηλεκτροδότησης απο την ξηρά 32	
3.6.	Ασύρματη φόρτιση πλοίων	34
3.7.	Είδη Ηλεκτροπροωθούμενων πλοίων.....	36
3.8.	Υβριδικά Ηλεκτροπροωθούμενα Πλοία.....	36
3.9.	Είδη ηλεκτροπροωθούμενων – υβριδικών συστημάτων	37
3.9.1.1.	Σειριακό Υβριδικό Σύστημα (Σ.Υ.Σ.).....	37
3.9.1.2.	Παράλληλο Υβριδικό Σύστημα (Π.Υ.Σ.)	38
3.9.1.3.	Σειριακό/Παράλληλο Υβριδικό Σύστημα (ΣΠΥΣ).....	38
3.9.1.4.	Πλήρως Εξηλεκτρισμένο Σύστημα (ΠΕΣ).....	38
3.9.2.	Στάδια Μελέτης Σχεδίασης και Κατασκευής Υβριδικού / Ηλεκτρικού Συστήματος πρόωσης 39	
3.9.2.1.	Ηλεκτρική πρόωση Υβριδικό Μοντέλο Fuel CELLS-BATERIES	39
3.9.3.	Υβριδική πρόωση σε Χρήση	41
3.9.3.1.	Φορτηγό πλοίο με όνομα ‘Paolo Torric’	41
3.9.3.2.	Πλοίο Copenhagen	41
3.9.4.	Συνδυασμοί Τεχνολογιών για Υβριδική πρόωση	42
3.9.5.	Ηλεκτροπροωθούμενα Πλοία με κυψέλες καυσίμου (Fuel cells).....	42
3.9.5.1.	Τα είδη των Κυψελών καυσίμου (Τύποι Κυψελών Καυσίμου).....	44
3.9.5.2.	Μέθοδος Παραγωγής Υδρογόνου για τις Κυψέλες Καυσίμου	44
3.9.5.3.	Το Πλήρως Ηλεκτρικό πλοίο και η ενσωμάτωση των Κυψελών Καυσίμου σε αυτό. (All Electric Ship).....	45
3.9.5.4.	Ηλεκτρική απόδοση	45
3.9.5.5.	Παραδείγματα Χρήσης Κυψελών Καυσίμου με Υδρογόνο σε πλοία.....	46
3.9.5.6.	Σύγχρονα projects (προγράμματα) με Κυψέλες Καυσίμου σε Πλοία.....	46
3.9.5.7.	Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Κυψελών Καυσίμου	49
3.10.	Ηλεκτρικοί Κινητήρες Πρόωσης.....	50
3.10.1.	Κινητήρες αξονικής ροής.	50

3.10.2.	Πολυβάθμιοι κινητήρες εγκάρσιας ροής (transverse flux motors).....	51
3.10.3.	Πολυβάθμιοι κινητήρες αξονικής ροής (axial flux motors).....	51
3.11.	Μετατροπείς ηλεκτρονικών ισχύος για ηλεκτρική πρόωση	51
3.11.1.	Μετατροπείς Συχνότητας.	51
3.11.2.	Ζεύγη ανορθωτών-αντιστροφών SPWM	51
3.12.	Τεχνικές Ελέγχου Κινητήρων Πρόωσης Εναλασσόμενου Ρεύματος.....	52
3.12.1.	Βαθμωτός έλεγχος ανοιχτού ή κλειστού βρόγχου V/F (scalar control):	52
3.12.2.	Έλεγχος με SPWM και CSI (με συγκριτές υστερήσεως).....	52
3.12.3.	Διανυσματικός έλεγχος (vector control)	52
3.12.4.	Απευθείας έλεγχος ροπής (Direct Torque Control DTC)	52
3.13.	Είδη αξονικών συστημάτων πλοίων	53
3.13.1.	Έλικα σταθερού βήματος (Fixed Pitch Propeller):.....	53
3.13.2.	Έλικα ρυθμιζόμενου βήματος (Controllable Pitch Propellers – CPP).....	53
3.13.3.	Αζιμουθιακό Προωστήριο Σύστημα (Podded Propulsion – POD)	53
3.14.	Σύστημα Παραγωγής – Μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.....	54
3.14.1.	Σύστημα Παραγωγής (Πηγές) Ηλεκτρικής Ενέργειας Πλοίων.....	55
3.14.1.1.	Αξονική Γεννήτρια Πλοίου (Shaft Generator)	55
3.14.1.2.	Στροβιλογεννήτριες (turbo generators).....	56
3.14.1.3.	Ηλεκτροστάσιο και Ηλεκτρωπαραγωγά ζεύγη	57
3.14.1.4.	Συστήματα Αδιάλειπτης Παροχής Ισχύος –(Uninterruptible Power Supply- UPS)	58
3.14.2.	Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας (Συστήματα Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας)	61
3.14.2.1.	Σύστημα Υβριδικής Αποθήκευσης Ενέργειας HESS	63
3.14.2.2.	Energy Storage Devices for All-Electric Ships	64

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: Μοντελοποίηση Υβριδικού Συστήματος 66

4.1.	Εισαγωγή.....	66
4.2.	Κυψέλες Καυσίμου (Fuel Cells)	66
4.3.	Μετατροπέας Σ.Ρ. – Σ.Ρ. (DC-DC Converter)	72
4.4.	Συσσωρευτές (Batteries)	73
4.5.	Ηλεκτρικός Κινητήρας (Electric Motor)	77
4.6.	Προσομοίωση μοντέλου ηλεκτροπροωθούμενου πλοίου-Μοντέλου Παραγωγής Υδρογόνου με Ηλεκτρόλυση νερού.....	84
4.7.	Ναυτιλιακά Project εγκατάστασης κυψελών καυσίμου.	93

Κεφάλαιο 5ο: Μελέτης Περίπτωσης Ακτοπλοϊκής Διασύνδεσης Πειραιά – Αίγινας για Μετασκευή Συμβατικού Πλοίου σε Ηλεκτροπροωθούμενο με κυψέλες καυσίμου 95

5.1	Εισαγωγή.....	95
5.2.	Δομικά στοιχεία συστήματος μετασκευής πλοίου	97
5.2.1.	Ηλεκτρικός Κινητήρας (Μοτέρ) EM375	97
5.2.2.	Σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (συσσωρευτές) 153.6 KWh.....	98
5.2.3.	Αρθρωτό σύστημα κυψελών καυσίμου της Transfluid - Genevos ισχύος 300kW	99
5.2.4.	Υβριδικό σύστημα ΗΜ (Module ΗΜ)	100
5.3.	Εκτίμηση παραμέτρων σεναρίων λειτουργίας πλοίου	101
5.3.1.	Παραδοχές Μελέτης Περίπτωσης Μετασκευής Συμβατικού Πλοίου σε Ηλεκτροπροωθούμενο με κυψέλες καυσίμου:	101
5.3.1.1.	Υπολογισμός ενεργειακών αναγκών γραμμής Πειραιά – Αίγινας.....	101
5.3.1.2.	Δεδομένα λειτουργίας συμβατικού πλοίου:	103
5.3.1.3.	Δεδομένα λειτουργίας ηλεκτροπροωθούμενου πλοίου με κυψέλες καυσίμου:	103
5.3.2.	Υπολογισμός κατανάλωσης συμβατικού καυσίμου (ντίζελ) και αποφυγής ρύπων	104
5.3.3.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΡΥΠΩΝ ΑΝΑ ΣΕΝΑΡΙΟ.....	106

5.4. Συμπεράσματα και βασικές επισημάνσεις υλοποίησης μετασκευής 107

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 108

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές 110

Παράρτημα Α Παραμετροποίηση μοντέλου Σύγχρονου Κινητήρα Μόνιμου Μαγνήτη (PMSM) 3-kW 112

Εισάγεται στο Workspace 112

Παράρτημα Β Ενδεικτικός κώδικας για το μοντέλο παραγωγής υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης νερού 113

Κατάλογος Εικόνων

- Εικόνα 2.1: Το πρώτο ηλεκτροκίνητο πλοίο. [2]
- Εικόνα 2.2: Κρουαζιερόπλοιο M/S Elation με azipod με σημαντικό ελεύθερο χώρο. [2]
- Εικόνα 2.3: Γενικό διάγραμμα συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου.[4]
- Εικόνα 2.4: Diesel-Electrical Propulsion Systems [28]
- Εικόνα 2.5: Αξιμουθιακό Σύστημα [28]
- Εικόνα 2.6: Η διαδικασία μέχρι και το προωστήριο σύστημα. [28]
- Εικόνα 3.1: Πλοίο κατά την διάρκεια ηλεκτρικής τροφοδότησης από την ξηρά.[10]
- Εικόνα 3.2: Παρουσίαση εγκατάστασης για την τροφοδότηση των ενεργειακών αναγκών πλοίου από την ξηρά.[17]
- Εικόνα 3.3: Καλώδια [10]
- Εικόνα 3.4: Εγκατάσταση υποδοχής καλωδίων τροφοδοσίας.[10]
- Εικόνα 3.5: Υποδοχή εγκατάσταση καλωδίων τροφοδοσίας.[13]
- Εικόνα 3.6: Γερανός καλωδίων.[10]
- Εικόνα 3.7: Εφαρμογή ασύρματης φόρτισης σε πλοίο.
- Εικόνα 3.8: Περιγραφή επαγωγικής φόρτισης.
- Εικόνα 3.9: Στάδια της ασύρματης φόρτισης.
- Εικόνα 3.10: Η ασύρματη φόρτιση σε πλήρη λειτουργία μέσω της εταιρείας Cavitoc.
- Εικόνα 3.11: Υβριδικό σύστημα πρόωσης. [26]
- Εικόνα 3.12: Σειριακό Υβριδικό Σύστημα. [26]
- Εικόνα 3.13: Παράλληλο Υβριδικό Σύστημα. [26]
- Εικόνα 3.14: (α): Σειριακό Υβριδικό Σύστημα Ηλεκτρικής Πρόωσης, (β): Παράλληλο Υβριδικό Σύστημα Ηλεκτρικής Πρόωσης. [31]
- Εικόνα 3.15: Η λειτουργία ενός κελιού καυσίμου με συνεχή ροή πρωτονίων με τη χρήση ηλεκτρολύτη. [18]
- Εικόνα 3.16 : Μία κυψέλη Καυσίμου (PEM) [18]
- Εικόνα 3.17: Πρόγραμμα «NEMO H2». [19]
- Εικόνα 3.18 : Πλοίο Προγράμματος «RIVERCELL». [19]
- Εικόνα 3.19: Κινητήρας Αξονικής ροής. [26]
- Εικόνα 3.20: Διάφορα συστήματα πρόωσης. [26]
- Εικόνα 3.21: Αξιμουθιακό προωστήριο σύστημα. [26]

Εικόνα 3.22: Η ολοκληρωμένη διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της αξονικής γεννήτριας. [21]

Εικόνα 3.23: Ηλεκτροστάσιο Πλοίου το οποίο χρησιμοποιεί στρόβιλο για κινητήρα. [25]

Εικόνα 3.24: Η πλήρης διαδικασία ενός συστήματος αδιάλειπτης παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. [22]

Εικόνα 3.25: Τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. [27]

Εικόνα 3.26: Ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη. [27]

Εικόνα 3.27: Η διαφορά απόδοσης ανάμεσα στα συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. [27]

Εικόνα 3.28: Σύγκριση των διάφορων τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας. [27]

Εικόνα 3.29: Πιθανό σύζευγμα συστημάτων υβριδικής αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Εικόνα 3.30: Είδη για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. [27]

Εικόνα 3.31: Ισοδύναμο κύκλωμα μοντέλου κυψελών καυσίμου. [27]

Εικόνα 3.32: Χρόνος απόκρισης κυψελών καυσίμου. [27]

Εικόνα 3.33: DC/CD Μετατροπέας. [27]

Εικόνα 3.34: Ισοδύναμο κύκλωμα μοντέλου μπαταρίας. [27]

Εικόνα 3.35: Τυπική καμπύλη εκφόρτισης. [27]

Εικόνα 3.36: Μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου. [27]

Εικόνα 3.37: Zero emission fast ferry. [29]

Εικόνα 4.1: Σχηματικό διάγραμμα μιας μονάδας ενός PEMFC (proton exchange membrane fuel cell). [30]

Εικόνα 4.2: Σχηματικό διάγραμμα συστήματος ισχύος με κυψέλη καυσίμου στη ναυτιλία . (BMS- Σύστημα διαχείρισης συσσωρευτών - battery management system). [30]

Εικόνα 4.3 Απώλειες καύσης βενζίνης [31]

Εικόνα 4.4 Διάγραμμα ροής ισχύος βενζίνης σε Μ.Ε.Κ. [31]

Εικόνα 5.1 Αποδόσεις BEV και FCEV [31]

Εικόνα 5.2 Αρθρωτό σύστημα κυψελών καυσίμου της Transfluid – Genevos HPM – 300 [31]

Εικόνα 5.3 Ηλεκτρικός κινητήρας EM37 [31]

Εικόνα 5.4 Σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (συσσωρευτές) [31]

Εικόνα 5.5 :Αρθρωτό σύστημα κυψελών καυσίμου της Transfluid - Genevos ισχύος 300kW [31]

Εικόνα 5.6 Ημερήσια χρησιμοποίηση ισχύος πλοίου εξυπηρέτησης παράκτιου αιολικού πάρκου [31]

**Εικόνα 5.7 Ποσοστιαία απόδοση ηλεκτρικού κινητήρα συναρτήσει των ποσοστιαίων στροφών
[31]**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι κατά βάση η ηλεκτρική πρόωση και τα πλήρως εξηλεκτρισμένα πλοία και αναλύεται και ολόκληρη η διαδικασία ενός εξηλεκτρισμένου πλοίου (από τις αρχικές γεννήτριες μέχρι και το προωστήριο σύστημα) και κάποια συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και κάποια υβριδικά μοντέλα πρόωσης τα οποία αναλύονται διεξοδικά αλλά και μοντελοποιούνται όπως το υβριδικό συστημά πρόωσης κυψελών καυσίμου και συσσωρευτών . Η ενσωμάτωση αυτών των νέων τεχνολογιών στην ναυτιλία είναι ιδιαίτερα αναγκαία, ώστε να μειωθούν οι αέριοι ρύποι και να οδηγηθούμε σε μία «πράσινη ναυτιλία» την οποία θέλουν όλοι οι παγκόσμιοι οργανισμοί ώστε να καταπολεμηθεί η παγκόσμια υπερθέρμανση και άλλα σημαντικά προβλήματα που υπάρχουν στο περιβάλλον. Ο κύριος λόγος που ωθούνται οι πλοιοκτήτες να ενσωματώσουν πλέον την ηλεκτρική πρόωση αλλά και τους συσσωρευτές μέσα στο πλοίο είναι κυρίως για να μειώσουμε τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα καθώς προσπαθούμε να εξαλείψουμε τις μηχανές ντίζελ.

1.2 Σκοπός και στόχοι

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι να μελετήσουμε ολοκληρωτικά τα πλήρως εξηλεκτρισμένα πλοία και τα υποσυστήματά τους. Ο κυριότερος στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η ανάλυση των υφιστάμενων συστημάτων των πλήρως εξηλεκτρισμένων πλοίων με απώτερη στόχευση την μοντελοποίηση κάποιων από αυτών. Επίσης άλλος ένα κύριος στόχος είναι η μελέτη των ηλεκτροπροωθούμενων πλοίων με διαφορετικές μεθόδους (πχ. Fuel cell, κ.α.). Ακόμα ένας μετέπειτα στόχος είναι η διερεύνηση βελτιώσεων σε κάποια από τα συστήματα των πλήρως εξηλεκτρισμένων πλοίων.

1.3 Μεθοδολογία

Σε σχέση με την μεθοδολογία θα εξεταστεί διεξοδικά η υπάρχουσα βιβλιογραφία και η σχετική ερευνητική δραστηριότητα και αρθρογραφία προκειμένου να αποτυπωθεί πλήρως η υφιστάμενη κατάσταση και κατόπιν με την βοήθεια προσομοιώσεων θα επιδιωχθεί η προσομοίωση της λειτουργίας διαφόρων υποσυστημάτων και θα διερευνηθούν τα πιθανά περιθώρια βελτίωσης των επιμέρους συστημάτων των πλήρως εξηλεκτρισμένων πλοίων.

Ερευνητικά ερωτήματα

Σε αυτήν την διπλωματική θα προβούμε στην επίλυση των παρακάτω ερωτημάτων:

- Η σκοπιμότητα της υβριδικής τεχνολογικής πρόωσης για διαφορετικούς τύπους πλοίων και είδη δρομολογίων (Θα αναφερθούμε σε διάφορα πλοία που χρησιμοποίησαν κάποια υβριδική τεχνολογία πρόωσης).
- Η παρούσα διπλωματική ερευνά εναλλακτικές μορφές ενέργειας για τη πρόωση του πλοίου όπως οι κυψέλες καυσίμου σαν δεύτερη πηγή ενέργειας αλλά και σαν μοναδική πηγή ενέργειας, και αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας μέσω συστοιχιών.

- Επίσης η παρούσα διπλωματική ερευνά εάν είναι δυνατόν η χρήση και βελτιστοποίηση υβριδικών συστημάτων στα πλοία και ποιο σύστημα είναι καλύτερο ανά είδος πλοίου.

1.4 Καινοτομία

Σε σχέση με την καινοτομία θα επιδιωχθεί μέσω των προσομοιώσεων που προαναφέρθηκαν να εντοπιστούν αδυναμίες στα υφιστάμενα συστήματα των Π.Ε.Π, προκειμένου να προτείνουμε αντίστοιχες βελτιώσεις με βάση τα αποτελέσματα που θα έχουν καταγραφεί από τις διάφορες μοντελοποιήσεις στα συστήματα των Π.Ε.Π.

1.5 Δομή

Η δομή της διπλωματικής εργασίας έχει ως εξής: αρχικά παρουσιάστηκε η μετάβαση από τα συμβατικά πλοία στα πλήρως εξηλεκτρισμένα πλοία καθώς αναφέρθηκε και η ιστορική αναδρομή της ηλεκτροπρόωσης αλλά δόθηκε και η περιγραφή ενός πλήρους εξηλεκτρισμένου πλοίου που πλέον χρησιμοποιεί ηλεκτρική πρόωση και όχι συμβατική πρόωση αλλά πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ συμβατικών και πλήρως εξηλεκτρισμένων πλοίων.

Ένα σημαντικό δομικό κομμάτι της συγκεκριμένης διπλωματικής είναι η μέθοδος ηλεκτροδότησης ελλιμενισμένων πλοίων από τη ξηρά που η συγκεκριμένη μέθοδος αναλύθηκε εκτενώς. Επίσης εκτενώς αναλύθηκε και η πλήρης διαδικασία μέχρι και τη ενεργοποίηση των ηλεκτρικών κινητήρων οι οποίοι πλέον κινούν την έλικα (Azipod).

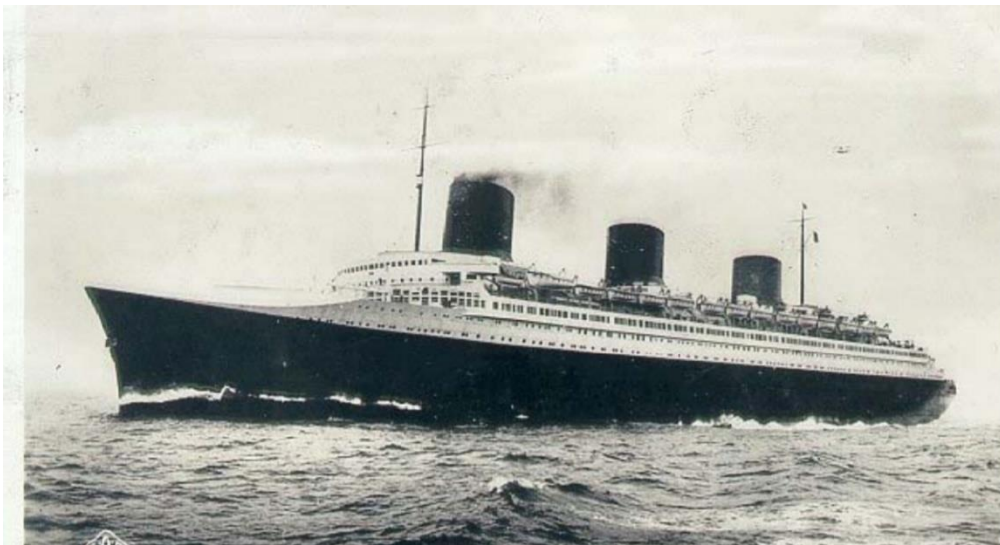
Επίσης αναλύθηκαν τα είδη ηλεκτροπροωθούμενων πλοίων αλλά και συνδυασμοί τεχνολογιών για υβριδική πρόωση αλλά και ηλεκτροπροωθούμενα πλοία με κυψέλες καυσίμου που θα λέγαμε πως είναι η τεχνολογία η οποία θα επικρατήσει στο μέλλον στη ναυτιλία.

Στο τελευταίο κεφάλαιο πραγματοποιήθηκαν κάποιες μοντελοποιήσεις (υβριδικών συστημάτων) μέσω του προγράμματος matlab, οι οποίες ήταν μοντελοποιήσεις συστημάτων που περιείχαν κυψέλες καυσίμου τύπου (PEMFC) αλλά και συστημάτων που είχαν μετατροπείς αλλά και συσσωρευτές και διαπίστωσα σημαντικά πράγματα από τις εξόδους για το καθένα υποσύστημα ξεχωρίστα που λάμβανε μέρος στη μοντελοποίηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο : Μετάβαση απο τα συμβατικά πλοία στα πλήρως εξηλεκτρισμένα πλοία

2.1. Ιστορική Αναδρομή Ηλεκτροπρόωσης

Κατά τα τέλη του 19^{ου} αιώνα στην Γερμανία διαδραματίστηκαν πειραματικές εφαρμογές ηλεκτρικής πρόωσης όπου ο ηλεκτροκινητήρας πρόωσης συνδεόταν και τροφοδοτούνταν άμεσα απο συστοιχίες συσσωρευτών. Γύρω στα 1920, ο μεγάλος ανταγωνισμός ανάμεσα στις ναυτιλιακές επιβατικών πλοίων για την μείωση υπερατλαντικών ταξιδιών γίνεται το έναυσμα για χρήση της πρώτης γενιάς ηλεκτροπρόωσης. Η ισχύς της πρόωσης προέρχονταν τότε απο στρόβιλο-ηλεκτρικά συστήματα και οι απαιτήσεις σε ισχύ ήταν πολύ μεγάλες.



Εικονα 2.1: Το πρώτο ηλεκτροκίνητο πλοίο

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες τροφοδοτούνταν συνήθως από ατμογεννήτριες και η συχνότητα της παραγόμενης ενέργειας των γεννητριών καθόριζε την περιστροφική ταχύτητα που χρειαζόταν ο ηλεκτροκινητήρας για την λειτουργία του. Οι γεννήτριες ήταν υπεύθυνες να τροφοδοτούν κάθε μηχανή πρόωσης ξεχωριστά, όμως αν το ταξίδι είναι χαμηλότερης ταχύτητας υπάρχει η δυνατότητα οι γεννήτριες να τροφοδοτούν μόνο τις δύο μηχανές και οι υπόλοιπες να μένουν ανενεργές, ώστε να κερδίζουμε σε εξοικονόμηση ενέργειας. Στα μέσα του 20^{ου} αιώνα συναντάμε πλέον τις μηχανές diesel, οι οποίες έβαλαν τέλος στην τεχνολογία στροβίλων ατμού αλλά και της ηλεκτροπρόωσης, μέχρι την δεκαετία του 80. Η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος και των συστημάτων οδήγησης των ηλεκτρικών κινητήρων έπαιξαν σημαντικό ρόλο, ώστε να επανέλθουν τα ηλεκτρικά κινητήρια συστήματα στην αγορά. Η δεύτερη γενιά ηλεκτροπρόωσης υλοποιείται μέσω ανορθωτών (μετατροπέων E.P./Σ.P.) για τον έλεγχο προωστικών μηχανών και μετέπειτα με εφαρμογή των μετατροπέων E.P/E.P για την εγκυρότητα και τον έλεγχο των μηχανών. Ένα ισχυρό δίκτυο απο σταθερή τάση και συχνότητα τροφοδοτεί το προωστήριο σύστημα. Μέσω ενός επιμελούς ελέγχου των στροφών των ηλεκτροκινητήρων στρέφονται οι έλικες με σταθερό βήμα (fixed pitch propellers - FPP).

Αρχικά αυτές οι μέθοδοι για πρόωση χρησιμοποιήθηκαν σε παγοθραυστικά και ερευνητικά πλοία, εφαρμόστηκαν και σε κρουαζιερόπλοια, σε τάνκερ κ.α. Ακολούθως, μετατράπηκαν και άλλα είδη πλοίων σε ηλεκτροκίνητα. Καταγράφεται ότι στην άμεσα οδηγούμενη πετρελαιοκίνητη πρόωση, η περιστροφή των ηλεκτροκινητήρων ελέγχεται δια μέσου ενός υδραυλικού συστήματος το οποίο αλλάζει το βήμα των ελίκων. Οι έλικες αυτές ονομάζονται μεταβλητού βήματος (controllable pitch propellers - CPP).

Όπως έχει προαναφερθεί το αζιμουθιακό προωστήριο σύστημα πρωτοεμφανίστηκε το 1990. Βάσει αυτού ο ηλεκτρικός κινητήρας τοποθετήθηκε εντός ενός βυθιζόμενου λοβοειδούς εξωτερικού περικαλύμματος, με έναν άξονα στην προπέλα ή η προπέλα να συνδέεται άμεσα στον κινητήρα. Το περικάλυμμα που βρίσκεται στο εξωτερικό μέρος έχει τη δυνατότητα να περιστρέφεται κατά 360, ώστε να προσδώσει στο πλοίο ευκινησία αλλά και να το κάνει και πιο ευέλικτο και επίσης η έλικα είναι σταθερού βήματος όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2. [1],[2],[3].



Εικόνα 2.2: Κρουαζιερόπλοιο M/S Elation με azipod (κάτω δεξιά) με σημαντικό ελεύθερο χώρο.

2.2 Περιγραφή πλήρως εξηλεκτρισμένων πλοίων-Ηλεκτρικής πρόωσης

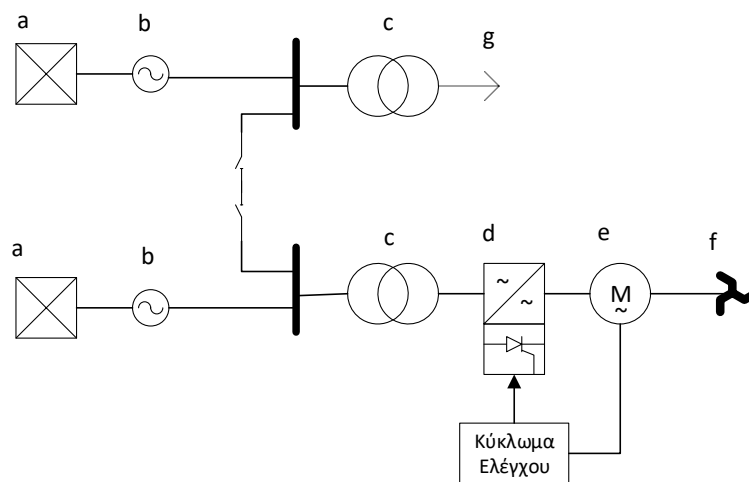
Λόγω της ραγδαίως εξελισσόμενης έρευνας για τα ηλεκτροπροωστήρια συστήματα, είναι ιδιαίτερα χρήσιμο να παρουσιαστούν κάποιοι βασικοί ορισμοί που χρησιμοποιούνται συχνά στην βιβλιογραφία :

α. Πλήρης Ηλεκτροπρόωση (Full Electric Propulsion)

Είναι η εγκατάσταση προώσεως όπου οι άξονες του πλοίου κινούνται αποκλειστικά και μόνο από ηλεκτρικούς κινητήρες δηλαδή η έλικα του πλοίου κινείται μέσω ενός ηλεκτροκινητήρα και όχι από άλλες μηχανές όπως (πχ. Ντίζελ, αεριοστρόβιλους και ατμοστρόβιλους). Υπάρχουν ζεύγη μηχανών και γεννητριών (Ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη) που ουσιαστικά τροφοδοτούν τους κινητήρες προώσεως, και οι γεννήτριες αυτές τροφοδοτούν μόνο τους κινητήρες προώσεως και όχι άλλα φορτία τις περισσότερες φορές. Επομένως η ηλεκτρική ισχύς για τα άλλα φορτία του πλοίου παράγεται από τις υπολειπόμενες γεννήτριες. Βεβαίως φυσικά και υπάρχουν ακόμα οι κινητήρες ντίζελ και οι ατμοστρόβιλοι στις εγκαταστάσεις ηλεκτροπρόωσης, αλλά τώρα το κύριο μέλημα τους είναι να κινούν ηλεκτρικές γεννήτριες όπου αυτές τώρα τροφοδοτούν τους ηλεκτρικούς κινητήρες προώσεως

και οι μηχανές ντίζελ και οι ατμοστρόβιλοι να μην κινούν πλέον το αξονικό σύστημα μαζί με την έλικα.

Επιπρόσθετα στην εγκατάσταση της πρόωσης τοποθετείται ένα σύστημα ελέγχου για τον κατάλληλο έλεγχο της, ώστε να ρυθμίζεται η πέδηση - εκκίνηση, τη ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής αλλά και η αλλαγή φοράς περιστροφής των ηλεκτρικών κινητήρων. Αρχικά τα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης ήταν του τύπου Σ.Ρ./Σ.Ρ (συχνά συστήματα Ward –Leonard) δηλαδή παραγωγή συνεχούς ρεύματος αλλά και κίνηση με συνεχές ρεύμα. Επίσης πολύ σημαντικό επίτευγμα για τη καθιέρωση της ηλεκτρικής πρόωσης είναι η ανάπτυξη διατάξεων και τεχνικών για τον έλεγχο κινητήρων Ε.Ρ (ανάπτυξη ηλεκτρονικών ισχύος), ώστε να εκπληρώνονται οι ανάγκες πρόωσης από πλευράς οικονομίας καυσίμου και εξέλιξης, άρχισε να χρησιμοποιείται η ηλεκτρική πρόωση σε αρκετά εμπορικά πλοία. Με τα ηλεκτρονικά ισχύος άρχισε να χρησιμοποιείται και το εναλλασσόμενο ρεύμα για τα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης.



- a: Κινητήρια μηχανή (ντιζελοκινητήρας ή αεριοστρόβιλος)
- b: Σύγχρονη γεννήτρια
- c: Μετασχηματιστής ισχύος
- d: Μετατροπέας συχνότητας AC/AC
- e: Προωστήριος κινητήρας
- f: Έλικα
- g: Ηλεκτρικό δίκτυο χρήσεως (αντλίες, συμπιεστές, φωτισμός, εργάτες κλπ.)

Εικόνα 2.3: Γενικό διάγραμμα συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου.

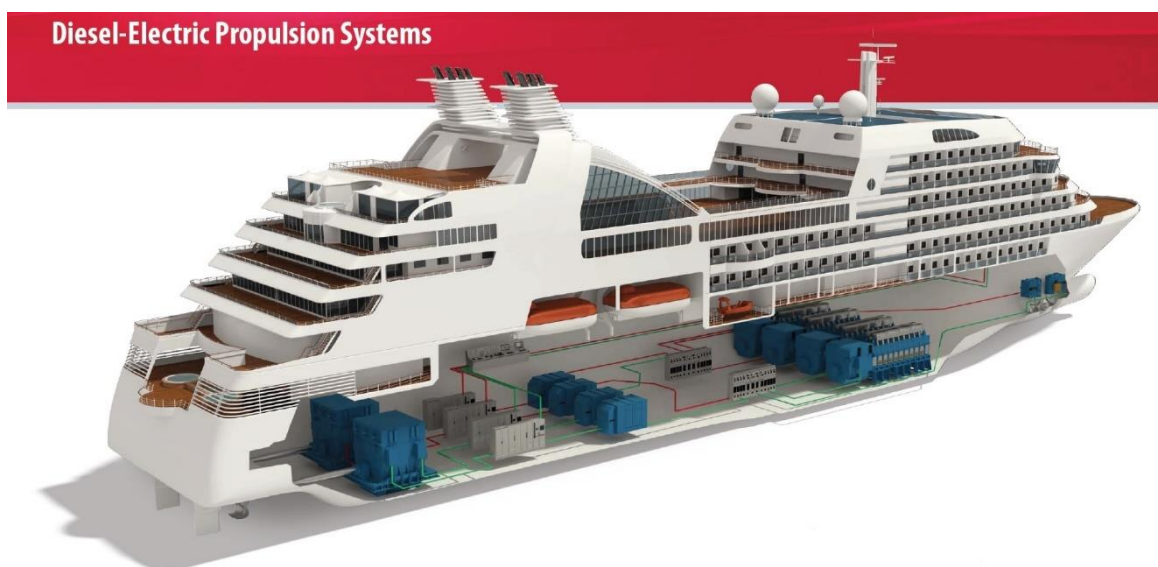
β. Ολοκληρωμένη Πλήρης Ηλεκτροπρόωση (Integrated full Electric Propulsion)

Η περιγραφή που θα ταίριαζε στην Ολοκληρωμένη Πλήρης Ηλεκτροπρόωση είναι η εξής: είναι η εγκατάσταση ηλεκτροπρόωσης όπου τα ζεύγη κινητήριων μηχανών – γεννητριών δεν τροφοδοτούν μόνο τους ηλεκτρικούς κινητήρες πρόωσης, αλλά τροφοδοτούν και τους υπόλοιπους καταναλωτές - φορτία του πλοίου. Η ηλεκτροπρόωση όπως έχει προαναφερθεί δημιουργείται από την ύπαρξη ηλεκτροκινητήρων που άμεσα συνδέονται με τον κύριο άξονα με την μετάδοση κίνησης η οποία συμβαίνει κυρίως με την αναλογία ένα προς ένα (1:1) και για να θεωρηθεί (καθαρή) η ηλεκτροπρόωση, δεν θα πρέπει να υπάρχουν διαφορετικά είδη μηχανών όπως τετράχρονοι πετρελαιοκινητήρες ή αεριοστρόβιλοι εκτός αν είναι υπεύθυνα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία της αξονικής γεννήτριας.

Περιγραφή πλήρους εξηλεκτρισμένου πλοίου (All Electric Ship)

Το πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο (All Electric Ship) είναι το πλοίο που διαθέτει ολοκληρωμένη πλήρη ηλεκτροπρόωση και για να φέρει εις πέρας τις λειτουργίες του χρησιμοποιεί ηλεκτρικά μηχανήματα και συστήματα, δηλαδή χρησιμοποιεί την ηλεκτρική ενέργεια σε όλα τα συστήματά του, τα οποία είναι πλέον ηλεκτρικά αφού έχουν αντικατασταθεί όλα τα μη ηλεκτρικά όπως τα υδραυλικά, τα μηχανικά ή τα συστήματα ατμού. Αυτό συνεπάγεται τα εξής πλεονεκτήματα:

- Έλεγχος της θέσης και της ταχύτητας του πλοίου
- Εξοικονομείται μεγάλη έκταση του χώρου
- Χαμηλώνει αρκετά το κόστος λειτουργίας και συντήρησης
- Αυξάνεται η δυνατότητα περιστροφής



Εικόνα 2.4: Diesel-Electrical Propulsion Systems

Το ηλεκτρικό δίκτυο προώσεως (Propulsion Network), είναι ένα τμήμα το οποίο δημιουργήθηκε για να τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία που συσχετίζονται με την πρόωση. Επίσης το υπόλοιπο δίκτυο πέραν του δικτύου προώσεως είναι το ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου και ονομάζεται ηλεκτρικό δίκτυο χρήσεως (ship service system). Το πλήρες εξηλεκτρισμένο πλοίο είναι ένας πυλώνας για την κατεύθυνση των «πράσινων»θαλάσσιων μεταφορών (Green Shipping) για όλες τις χώρες της Ευρώπης. Επιπρόσθετα η χρήση της ηλεκτροπρόωσης αυξάνεται με ραγδαίους ρυθμούς και η παραγωγή λόγω των μεγαλύτερων ηλεκτρικών απαιτήσεων, χρειάζεται αυξημένο έλεγχο, και η διανομή και η ποιότητα της ηλεκτρικής ισχύος παίζει ουσιώδες ρόλο στην ηλεκτροπρόωση και στα νέα μηχανήματα και συστήματα που χρησιμοποιούμε. Η τάση που αρχίζει και επικρατεί είναι ότι οι κύριες αλλά και οι βοηθητικές ανάγκες του πλοίου θα γίνονται μόνο με τα ηλεκτρικά συστήματα και μηχανήματα και όχι απο συστήματα ατμού ή υδραυλικά συστήματα, επομένως οδηγούμαστε σε πλήρη εξηλεκτρισμό σε όλα τα εγκατεστημένα υποσυστήματα

που διαθέτει το πλοίο, επομένως κινούμαστε πλέον προς το πλήρες εξηλεκτρισμένο πλοίο (All Electric Ship).

Αξιμουθιακό Σύστημα

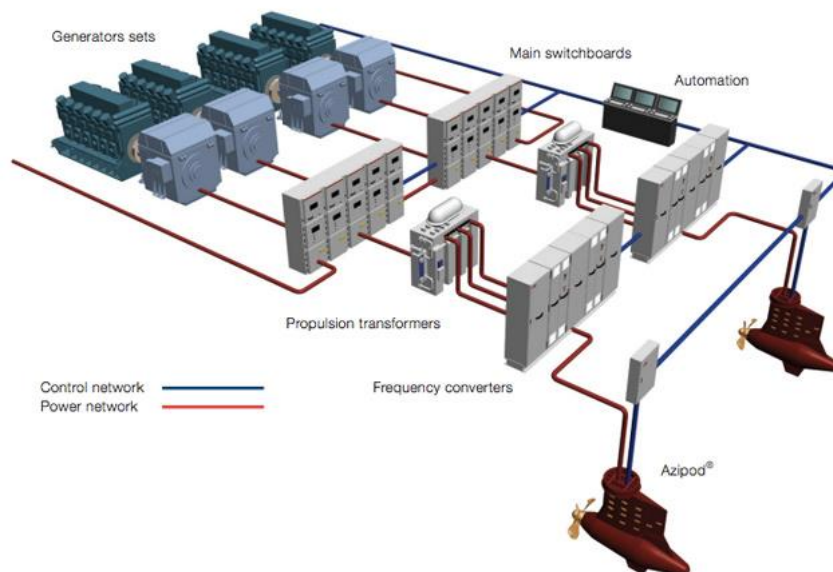
Το αξιμουθιακό σύστημα την τελευταία δεκαετία μαζί με την εισαγωγή της ηλεκτροπρόωσης εμφανίστηκε σαν μία εναλλακτική λύση για το προωστήριο σύστημα που έχει πολλαπλά οφέλη και πλεονεκτήματα. Το σύστημα ηλεκτρικού κινητήρα και έλικας είναι μία ενιαία μονάδα, εμβαπτισμένη στο νερό στο πρυμναίο μέρος του πλοίου. Το σύστημα έχει τη δυνατότητα να στρέφεται σχεδόν κατά 360° κατά την αξιμουθιακή, αυξάνοντας σε μεγάλο βαθμό τις δυνατότητες ελιγμών του πλοίου. Επομένως πρακτικά μηδενίζεται το αξονικό σύστημα και επίσης δεν υφίσταται πλέον μηχανισμός πηδαλίου.



Εικόνα 2.5: Αξιμουθιακό Σύστημα

Η διαδικασία μέχρι την πρόωση των ηλεκτρικών κινητήρων:

Στη συνέχεια θα εξηγηθεί η διαδικασία μέχρι την πρόωση των ηλεκτρικών κινητήρων (αξιμουθιακών κινητήρων) με την αντίστοιχη εικόνα. Αρχικά υπάρχει το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος το οποίο είναι μία ανεξάρτητη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας), η οποία αποτελείται από ένα ειδικό ζεύγος μηχανών, μιας κινητήριας μηχανής και μιας ηλεκτρικής γεννήτριας που συνεργαζόμενες παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Θα λέγαμε πώς η κινητήρια μηχανή δίνει μηχανική ισχύ στον άξονα της γεννήτριας ώστε να παράξει ηλεκτρική ενέργεια. Στη συνέχεια ακολουθούν Πίνακες Διανομής E.P. ή Σ.P. (AC / DC Switchboards) και μετά ακολουθεί το τμήμα των μετασχηματιστών πρόωσης (Propulsion Transformers) με ή χωρίς μετατροπείς E.P./Σ.P., και στο τελικό τμήμα βρίσκονται οι μετατροπείς συχνότητας (Frequency Converters), οι οποίοι μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια προς τους ηλεκτροκινητήρες οι οποίοι κινούν πλέον τον έλικα του πλοίου, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα 2.2. [4],[5],[6].



Εικόνα 2.6: Η διαδικασία μέχρι και το προωστήριο σύστημα.

2.3 Σύγκριση συμβατικών και πλήρως εξηλεκτρισμένων πλοίων

Αρχικά η σύγκριση μεταξύ των συμβατικών πλοίων και των πλήρως εξηλεκτρισμένων πλοίων θα πραγματοποιηθεί ώστε να εξηγηθούν πλήρως οι λόγοι για τους οποίους η δομή των πλοίων θα πρέπει να εξελιχθεί και να ακολουθήσει την νέα τεχνολογία των πλήρως εξηλεκτρισμένων πλοίων διότι τα κέρδη θα είναι αναμφίβολα πολύ μεγάλα. Στα συμβατικά πλοία έχουμε πρόωση του πλοίου μέσω πετρελαιοκινητήρων, ενώ στα ηλεκτροπροωθούμενα πλοία χρησιμοποιούμε ηλεκτρικούς κινητήρες για την πρόωση. Η ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζονται οι ηλεκτροκινητήρες, παράγεται από ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη που χρησιμοποιούν κινητήριες μηχανές, για να περιστραφούν και να μετατρέψουν την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Έχουμε δύο είδη κινητήριων μηχανών που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη (H/Z):

- πετρελαιοκινητήρες (Diesel)
- ατμοστρόβιλους / αεριοστρόβιλους

Σύμφωνα με μελέτες και τα δύο είδη κινητήριων μηχανών των H/Z, ρυπαίνουν πολύ λιγότερο το περιβάλλον σε σχέση με τα συστήματα πρόωσης που συναντούμε στα συμβατικά πλοία που εκεί έχουμε καθαρά την καύση του πετρελαίου με δυσμενείς επιπτώσεις προς το περιβάλλον, λόγω των εκπεμπόμενων ρύπων τόσο προς την ατμόσφαιρα, όσο και των αποβλήτων που καταλήγουν στη θάλασσα. Επίσης τα πλήρως εξηλεκτρισμένα πλοία παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση, διότι εκμεταλλεύονται το ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης αντί του συμβατικού μηχανικού συστήματος πρόωσης που χρησιμοποιούν τα συμβατικά πλοία. Η αύξηση της παγκόσμιας έρευνας και ζήτησης για φιλικά προς το περιβάλλον πλοία οδηγεί στην δημιουργία νέων τεχνολογιών πρόωσης. Μια τέτοια τεχνολογία, είναι η ηλεκτροπρόωση που χρησιμοποιούν τα πλήρως εξηλεκτρισμένα πλοία. Τα Π.Ε.Π. πληρούν όλες τις προδιαγραφές προστασίας του περιβάλλοντος, όπως προκύπτει από ενδελεχή μελέτη

του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (International Maritime Organization, IMO) σε σχέση με τα συμβατικά πλοία τα οποία λόγω των εκπεμπόμενων ρύπων τους προς το περιβάλλον, αρχίζουν και γίνονται ανεπιθύμητα προς χρήση, αφού συμβάλλουν στο βαθμό που τους αναλογεί στην καταστροφή του περιβάλλοντος. Επομένως η ναυτιλία στοχεύει ολοένα και περισσότερο στα σημαντικά οφέλη της ηλεκτρικής ισχύος που κάνει τα πλοία φιλικότερα προς το περιβάλλον και οικονομικότερα στη λειτουργία και στη συντήρησή τους, καθώς η τιμή των ορυκτών καυσίμων ολοένα και αυξάνει, αποβλέποντας μακροπρόθεσμα στα πλήρως εξηλεκτρισμένα πλοία αλλά και στα μεγάλα οικονομικά οφέλη που απορρέουν από αυτήν την μεγάλη αλλαγή. Συνεπώς, δεδομένου ότι τα πλήρως εξηλεκτρισμένα πλοία διαθέτουν μια σειρά χαρακτηριστικών για πράσινη ηλεκτροπρόωση (οικονομικών, περιβαλλοντικών, αποδοτικότερης λειτουργίας κ.α.) και ταιριάζουν με τους αειφόρους πράσινους λιμένες που έχουν αρχίσει ήδη να αναπτύσσονται, οι πλοιοκτήτες στρέφονται προς τα ηλεκτροπρωθούμενα πλοία (Π.Ε.Π). Παρακάτω θα αναλυθούν και άλλες τεχνολογίες πρόωσης που είναι πολύ ελπιδοφόρες για το μέλλον, όπως:

- Πλοία με ηλεκτροπρόωση με πλήρη ηλεκτρική τροφοδότηση από συσσωρευτές.
- Πλοία με ηλεκτροπρόωση υβριδικής τροφοδότησης από (συσσωρευτές και κυψέλες καυσίμου με ενεργειακά στοιχεία υδρογόνου).

Στη συνέχεια θα αναλυθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της τεχνολογίας ηλεκτροπρόωσης που διαθέτουν τα πλήρως εξηλεκτρισμένα πλοία, αφού είναι το κυρίαρχο κομμάτι που διαφέρει από τα συμβατικά πλοία.

A) Πλεονεκτήματα Ηλεκτροπρόωσης

- Διαθέτει υψηλή δυνατότητα ελιγμών
- Τα επίπεδα θορύβου και κραδασμών είναι αρκετά χαμηλά
- Αν η φόρτιση των μηχανών είναι εφικτή να γίνει σε ένα βέλτιστο σημείο επιτυγχάνεται μεγάλη οικονομία στο καύσιμο που χρησιμοποιούν οι κινητήριες μηχανές στα υβριδικού τύπου πλοία.
- Δυνατότητα ακριβούς ελέγχου της ταχύτητας περιστροφής της έλικας, συνεπώς και της ταχύτητας αλλά και της θέσης του πλοίου.
- Γρήγορη απόκριση στη διάρκεια των χειρισμών.
- Αρκετά χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας.
- Εξοικονόμηση χώρου, η οποία δίνει τη δυνατότητα εργονομικότερης αξιοποίησης των χώρων ενός πλοίου, διαφοροποιώντας τον αντίστοιχο σχεδιασμό ενός συμβατικού.
- Αυτοματοποιείται εύκολα, κάτι που το χρειαζόμαστε καθώς ο αυτοματισμός σε ένα πλοίο έχει κυρίαρχη πλέον θέση, καθώς πολλά μηχανήματα αυτοματισμού εισάγονται στο πλοίο για αρκετές λειτουργίες του. (Μηχανήματα αυτοματισμού που βοηθούν στην εξισορρόπηση του φορτίου που μεταφέρει ένα πλοίο και ονομάζονται Balanced Systems).

- Αυξημένη ασφάλεια και αξιοπιστία, καθώς πολλά συστήματα είναι συνδεδεμένα παράλληλα επομένως διασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία υποσυστημάτων ακόμη και σε περίπτωση βλάβης.
- Περιορίζονται οι εκπεμπόμενοι ρύποι, αφού η κατανάλωση του καυσίμου είναι μικρότερη, ενώ και οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου NOx είναι αισθητά χαμηλότερες.
- Λόγω της γρήγορης απόκρισης του συστήματος αποφεύγονται οι κίνδυνοι για ρύπανση του περιβάλλοντος από ατυχήματα (π.χ. δεξαμενόπλοια).

Μειονεκτήματα ηλεκτροπρόωσης

- Το κόστος επένδυσης είναι αρκετά υψηλό. Όμως, καταβάλλονται προσπάθειες ώστε να μειωθεί αξιοποιώντας την τεχνολογία των ηλεκτρικών δικτύων (Commercial Off The Self), αλλά το κόστος των κινητήρων και των μονάδων ελέγχου παραμένει ιδιαίτερα υψηλό.
- Έχουμε υψηλότερες απώλειες στη μονάδα μετάδοσης κίνησης σε σχέση με το μηχανικό σύστημα. Στο συμβατικό πλοίο το σύστημα κινητήρα ντίζελ-έλικας με ρυθμιζόμενο βήμα, το σύστημα έχει απώλειες μετάδοσης που εντοπίζονται στην έλικα και τον μειωτήρα περίπου 4% όταν η έλικα είναι στο μέγιστο συνδυασμό ταχύτητας-βήματος. Ενώ στη τεχνολογία όπου η εγκατάσταση είναι ηλεκτρικής πρόωσης, το σύστημα μετάδοσης προκαλεί μεγαλύτερες απώλειες περίπου στο 8%, όπου σύμφωνα με έναν ενδελεχή έλεγχο οφείλεται στις ηλεκτρικές γεννήτριες, στους μετασχηματιστές, στους προωστήριους ηλεκτροκινητήρες αλλά και στους μετατροπείς συχνότητας. Άρα ο συνολικός βαθμός απόδοσης είναι μεγαλύτερος στο σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης μόνο όταν η κάθε μηχανή είναι σε κατάσταση λειτουργίας σε σταθερή ταχύτητα και για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Εξαιτίας των ηλεκτρονικών ισχύος παρουσιάζονται κάποια προβλήματα σχετικά με την ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Οι μπαταρίες για την ολική κάλυψη της ισχύος του πλοίου έχουν μεγάλο βάρος, επομένως το πλοίο δέχεται μικρότερο φορτίο από αυτήν ενός αντίστοιχου συμβατικού, με αποτέλεσμα να χάνονται έσοδα.
- Η μηχανή χρειάζεται επιπλέον φόρτιση, αφού για μία αξονική γεννήτρια που συνδέεται στον ελικοφόρο άξονα μιας μηχανής, το φορτίο μεγιστοποιείται μαζί με την κατανάλωση του αντίστοιχου καυσίμου.

Επιπρόσθετα άλλος ένας επιπλέον λόγος που υπερτερούν τα πλήρως εξηλεκτρισμένα πλοία σε σχέση με τα συμβατικά, είναι πως η συνεχής ανάπτυξη της ηλεκτροπρόωσης θα συνδεθεί με την ταυτόχρονη ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, δεδομένου ότι λόγω των μετατροπέων ηλεκτρονικών ισχύος, η μετατροπή οποιασδήποτε μορφής ενέργειας σε ηλεκτρική, είναι εφικτή κι έτσι θα εκμεταλλευτούμε τα τεράστια ποσά ενέργειας που θα μας παρέχει η φύση τόσο για την ηλεκτροπρόωση, όσο και για τις υπόλοιπες ενεργειακές ανάγκες ενός πλοίου.

Απο το 2019 εκμηδενίζονται οι εκπομπές SOx και η ναυτιλία κινείται σε «πράσινες» λύσεις πρόωσης με την ηλεκτροπρόωση που χρησιμοποιείται κατά κόρον στα Π.Ε.Π να είναι η πιο διαδεδομένη και βασική. Επομένως τα πλήρως εξηλεκτρισμένα πλοία θα αρχίσουν να εκμεταλλεύονται και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την πρόωσή τους και τα οικονομικά οφέλη για τους πλοιοκτήτες που θα χρησιμοποιήσουν αυτήν την τεχνολογία, θα εξασφαλίσουν σημαντικά κέρδη σε βάθος χρόνου για τις επιχειρήσεις τους.

[7]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Υποσυστήματα πλοίων

3.1 Είδη τροφοδότησης πλοίων απο την ξηρά

Σε αυτή τη παράγραφο θα περιγραφεί ο τρόπος με τον οποίο ένα πλοίο κατά τη διάρκεια της παραμονής του στο λιμάνι μπορεί να θέτει εκτός λειτουργίας τις μηχανές ντίζελ είτε όποιας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος χρησιμοποιεί και η ηλεκτροδότησή του να πραγματοποιείται απο το δίκτυο του λιμανιού.

Οι πλοιοκτήτες λόγω των απαιτήσεων για φιλικότερα πλοία προς το περιβάλλον στρέφουν το ενδιαφέρον τους στην παροχή ηλεκτροδότησης απο το λιμάνι. Οι κατασκευαστές πλοίων μαζί με τις λιμενικές αρχές καταβάλουν προσπάθειες για περιορισμό των εκπεμπόμενων ρύπων απο τα πλοία με την παροχή ηλεκτρικής ισχύος απο το δίκτυο του λιμανιού.

Λόγω αυτής της προσπάθειας για πλοία φιλικότερα προς το περιβάλλον μεγάλες εταιρείες εξειδικευμένες σε θέματα βελτίωσης συστημάτων παροχής ενέργειας υλοποίησαν αρκετές εφαρμογές ηλεκτροδότησης συμβατικών και ηλεκτροπροωθούμενων πλοίων από το λιμάνι.

Η μεγιστοποίηση του ενδιαφέροντος στο τομέα της τροφοδότησης απο την ξηρά για τα συμβατικά πλοία, προκύπτει όχι μόνο απο τα περιβαλλοντικά οφέλη της χρήσης ηλεκτρικής ισχύος όσο και λόγω του οικονομικού οφέλους, καθώς το κόστος κατανάλωσης καυσίμων έχει την τάση ολοένα και να αυξάνεται.

Η ανάλυση και η περιγραφή του συστήματος ηλεκτροδότησης συμβατικών και ηλεκτροπροωθούμενων πλοίων κατά την παραμονή τους στο λιμάνι θα παρουσιαστεί αναλυτικά παρακάτω. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται ηλεκτροδότηση ελλιμενισμένων πλοίων απο την ξηρά (cold ironing).

Κατόπιν, θα καταγραφεί και ο απαραίτητος εξοπλισμός συμβατικών και Π.Ε.Π πλοίων αλλά και των λιμένων για να εφαρμοστεί η συγκεκριμένη μέθοδος ηλεκτροδότησης των πλοίων έχοντας απενεργοποιημένες όλες τις μηχανές τους.

Στη συνέχεια θα γίνει η περιγραφή της ενσύρματης και ασύρματης τροφοδότησης ηλεκτροπροωθούμενων πλοίων από την ξηρά, με σκοπό την φόρτιση των συσσωρευτών του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας που διαθέτουν.

3.1.1 Μέθοδος Ηλεκτροδότησης ελλιμενισμένων πλοίων απο την ξηρά (cold ironing)



Εικόνα 3.1: Πλοίο κατά την διάρκεια ηλεκτρικής τροφοδότησης από την ξηρά.

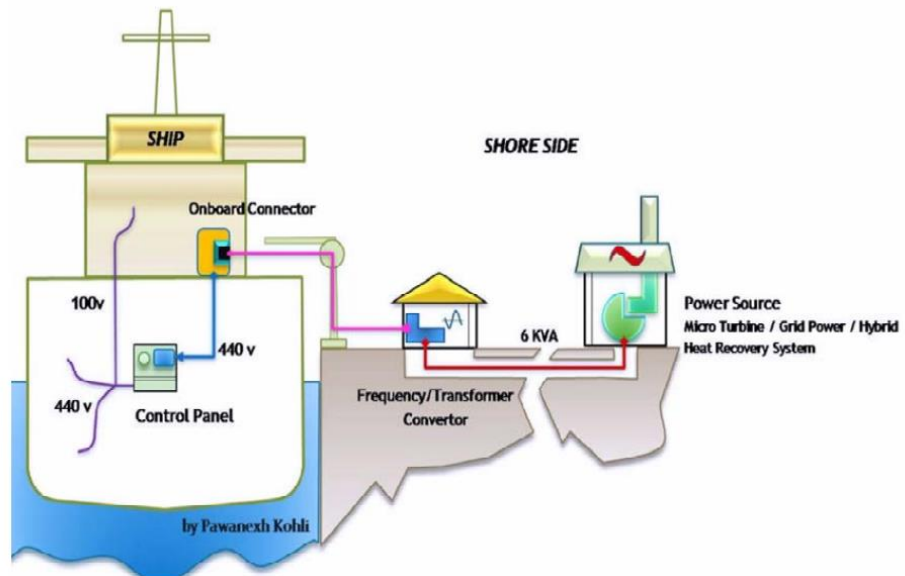
Η μέθοδος ηλεκτροδότησης ελλιμενισμένων πλοίων απο την ξηρά η COLD-IRONING, ουσιαστικά αναφέρεται στην ηλεκτροδότηση των πλοίων απο το δίκτυο του λιμανιού, δίνοντας την δυνατότητα στα πλοία να προβούν σε απενεργοποίηση των πετρελαιοκινητήρων τους (ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη), για όσο διάστημα βρίσκονται στο λιμάνι. Η απενεργοποίηση αυτή των μηχανών εσωτερικής καύσης ήταν το έναυσμα για την ονομασία της μεθόδου cold, που εκτός απο το να μηδενίζει τις εκπομπές ρύπων, ελαττώνει και την θερμοκρασία του εκάστοτε πλοίου. Η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας απο την ξηρά πραγματοποιείται για την κάλυψη όλων των αναγκών ηλεκτροδότησης του πλοίου, όταν αυτό είναι ελλιμενισμένο. Κάποιες απο αυτές τις ανάγκες είναι οι εξής:

- Ανεφοδιασμός
- Φορτοεκφόρτωση
- Κλιματισμός
- Φωτισμός
- Θέρμανση
- Λοιπά ηλεκτρονικά συστήματα

Δίχως την μέθοδο του cold ironing οι παραπάνω ανάγκες χρειάζονται την κατανάλωση ποσοτήτων καυσίμων προκαλώντας μεγάλη ρύπανση για το περιβάλλον αλλά και μεγάλη οικονομική επιβάρυνση λόγω των ορυκτών καυσίμων. Με την μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται η μείωση αρχικά των αποβλήτων και μετέπειτα της ρύπανσης των πλοίων στο λιμάνι και η εκμηδένιση των εκπεμπόμενων ρύπων απο τις ηλεκτρογεννήτριες των πλοίων. Επομένως η μέθοδος αυτή δημιουργήθηκε για να καταργήσει τους πετρελαιοκινητήρες όσο το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι αλλά και για να εξασφαλίσει περισσότερο καύσιμο για το πλοίο όταν αυτό θα είναι εν πλω.

Επίσης η ρύπανση των πλοίων εκτός από περιβαλλοντικά προβλήματα δημιουργεί και προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία κυρίως στους εργαζόμενους του λιμανιού αλλά και στους κατοίκους των κοντινών περιοχών.

Για να πραγματοποιηθεί η μέθοδος της ηλεκτροδότησης των ελλιμενισμένων πλοίων από την ξηρά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγές ενέργειας, είτε το δημόσιο σύστημα ηλεκτροδότησης ή και από ανανεώσιμες πηγές ενέργειες όπου είναι φιλικές προς το περιβάλλον.



Εικόνα 3.2: Παρουσίαση εγκατάστασης για την τροφοδότηση των ενεργειακών αναγκών του πλοίου από την ξηρά.

Για να πραγματοποιηθεί η μέθοδος θα πρέπει να τηρούνται κάποιες κύριες προϋποθέσεις όσον αφορά τα λιμάνια και τα τοπικά δίκτυα ηλεκτροδότησης αλλά και από τα ίδια τα πλοία. Στην περίπτωση των λιμανιών και των πλοίων χρειάζεται κάποιος ειδικός εξοπλισμός που θα πρέπει να διαθέτουν, ενώ για το δίκτυο ηλεκτροδότησης κυρίαρχο ρόλο παίζουν τα μεγέθη συχνότητας και τάσης, τα οποία επηρεάζουν την συμβατότητα. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την ηλεκτροδότηση απο την ξηρά είναι ο εξής:

- Μετατροπέας τάσης και συχνότητας.
- Σταθμός παροχής ενέργειας.
- Εξοπλισμός για την μεταφορά της ενέργειας.
- Εγκατάσταση διασύνδεσης πάνω στο πλοίο. [10].

3.2 ISO/IEC/IEEE 80005-1:2012

Μετά απο πολύ μεγάλη προσπάθεια, θεσπίστηκε επίσημη τυποποίηση ISO για την μέθοδο της ηλεκτροδότησης των πλοίων απο την ξηρά (cold ironing). Θεσπισμένο πλέον απο τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (International Organization for Standardization - ISO) πραγματοποιείται η περιγραφή για τα συστήματα υψηλής τάσης που διασυνδέονται με την ξηρά (High-Voltage Shore Connection, (HVSC). Η συγκεκριμένη μέθοδος της

ηλεκτροδότησης απο την ξηρά γίνεται εφαρμόσιμη με τα παρακάτω συστήματα που είναι υπεύθυνα για την εγκατάσταση, τον σχεδιασμό αλλά και την εύρυθμη λειτουργία της μεθόδου:

- Μετασχηματιστές /Αντιδραστήρες.
- Συστήματα που διανέμουν υψηλή τάση στην ξηρά.
- Μετατροπείς ημιαγωγών.
- Συστήματα διανομής στο πλοίο.
- Συστήματα ελέγχου και παρακολούθησης όλης της μεθόδου της ηλεκτροδότησης απο την ξηρά.
- Εξοπλισμός για την διασύνδεση μεταξύ ξηράς και πλοίου [11].

3.3 Παροχή ενέργειας και ανάλυση εξοπλισμού της μεθόδου της ηλεκτροδότησης απο την ξηρά (cold ironing).

Η παροχή ενέργειας των επιμέρους εγκαταστάσεων της μεθόδου συνδέεται με το τοπικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικού ρεύματος. Η εισερχόμενη τάση του ρεύματος απο το κύριο δίκτυο θα πρέπει να βρίσκεται σε ένα επίπεδο διανομής περίπου (10 kV έως 40 kV). Η ενέργεια μετριέται πάντα σε kWh. Σύμφωνα με πληροφορίες στα λιμάνια οι πελάτες που συνδέονται με το δίκτυο στο επίπεδο μεταφοράς της τάσης πληρώνουν λιγότερα χρήματα. Στην συνέχεια θα αναλυθούν συγκεκριμένα κομμάτια της μεθόδου ειδικότερα ο εξοπλισμός της ενσύρματης σύνδεσης μεταξύ του δικτύου της ξηράς και του πλοίου. Αρχικά χρησιμοποιείται ένας μετασχηματιστής όπου έχει την δυνατότητα είτε να ανυψώνει είτε να υποβιβάζει την τάση. Στην μέθοδο της ηλεκτροδότησης των πλοίων απο την ξηρά ο μετασχηματιστής μετατρέπει την υψηλή τάση σε μέση τάση έτσι ώστε η ενέργεια να είναι κατάλληλη προς κατανάλωση για τις ανάγκες του πλοίου. Μια κατηγορία πλοίων όπως τα κιβωτιοφόρα, βρίσκονται σε κατάσταση λειτουργίας με ένα σύστημα διανομής τάσης απο 440V ή 6,6 KV επομένως θα χρειαστεί ένας μετασχηματιστής για να υποβιβάσει την τάση. Η Maersk χτίζει κάποια πλοία 10,150 TEU και τα συγκεκριμένα πλοία αποτελούνται από 900 βύσματα. Επομένως με έναν γρήγορο υπολογισμό χρειάζεται 5 kW για κάθε ένα από τα βύσματα που διαθέτει, έτσι στην περίπτωση που είναι ενεργά όλα τα βύσματα η ενέργεια που θα χρειαστεί είναι 4.5 MW. Στην συνέχεια έχουμε τους αποζεύκτες (switchgear) όπου έχουν την δυνατότητα να ελέγχουν και να απομονώνουν τις ηλεκτρικές συσκευές καθώς είναι συνδεδεμένοι πάντα με την παροχή της ηλεκτρικής ενέργειας και επιτηρούν διαρκώς για πιθανές διαταραχές της τάσης. Χρησιμοποιούνται κυρίως για να διακόπτουν την τροφοδοσία των ηλεκτρικών φορτίων όταν σε αυτά παρουσιαστούν σφαλματικές καταστάσεις.

Επιπρόσθετα στους μεγάλους μετασχηματιστές θα πρέπει να έχει έναν αποζεύκτη σε κάθε πλευρά του (υψηλής και χαμηλής τάσης). Επομένως, θα πρέπει να είναι συνδεδεμένος ανάμεσα στην έξοδο του μετασχηματιστή και τα καλώδια που τα συναντάμε στο μπροστινό μέρος της αποβάθρας. Επίσης, χρειάζεται προστασία των καλωδίων και του μετασχηματιστή από την πλευρά της υψηλής τάσης. [12].

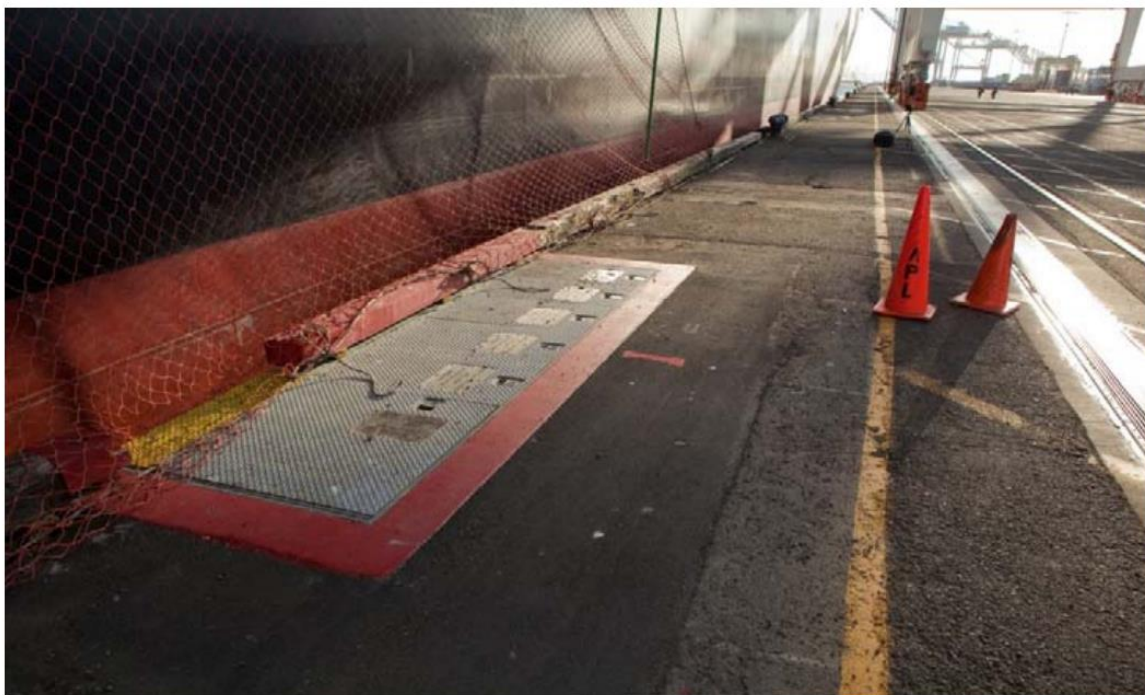
Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά στους αγωγούς που θα χρειαστούμε για την μέθοδο της ηλεκτροδότησης απο την ξηρά. Αρχικά το καλώδιο είναι υπεύθυνο για να μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια και για την λειτουργία αυτή χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότεροι αγωγοί. Όλα τα καλώδια που κυκλοφορούν στην αγορά έχουν έναν χαμηλής αντίστασης ηλεκτρικό αγωγό (conductor) ο οποίος είναι υπεύθυνος για την μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος αλλά και την μόνωση (insulation) η οποία τα απομονώνει και τα προστατεύει (π.χ. υπερθερμάνσεις) από το περιβάλλον. Χρειαζόμαστε παροχή επαρκούς ηλεκτρικής μόνωσης η οποία θα επιτρέψει την διάχυση του ηλεκτρικού ρεύματος με ασφάλεια και η συγκεκριμένη περίπτωση θέτει μεγάλες προκλήσεις στους μηχανικούς που ασχολούνται με τις υψηλές τάσεις. Τα καλώδια για να είναι σε λειτουργική κατάσταση είναι καταλλήλως σχεδιασμένα για να παρέχουν ισχύ 4 MVA.



Εικόνα 3.3: Καλώδια

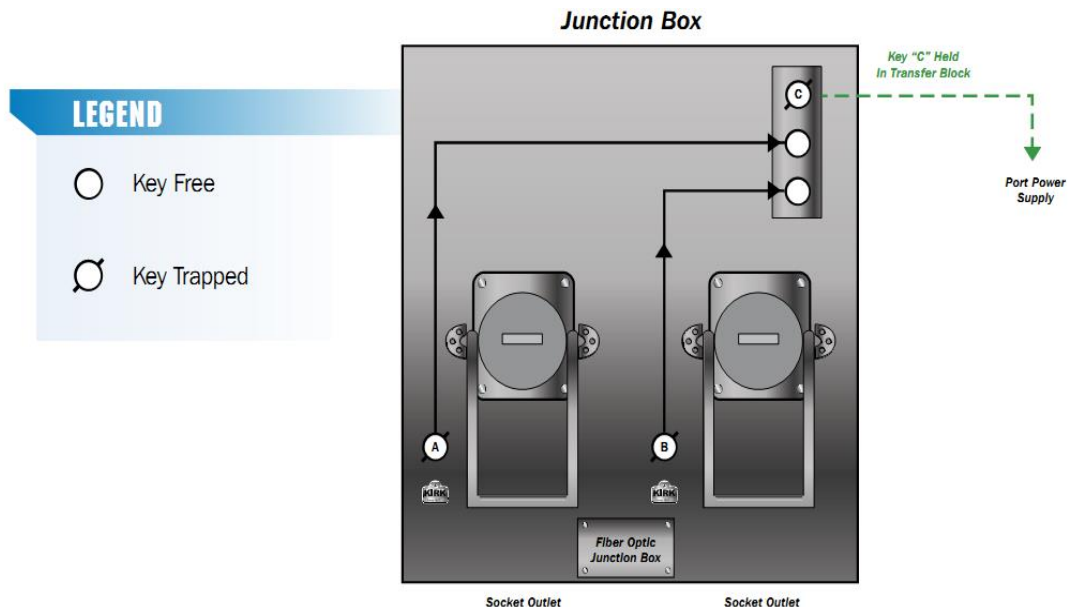
Επομένως δύο καλώδια παρέχουν ακριβώς 8 MVA και τα υλικά που κυρίως χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των καλωδίων είναι κυρίως ο χαλκός και το αλουμίνιο. Συνήθως χρησιμοποιείται το αλουμίνιο καθώς είναι φτηνότερο από τον χαλκό επομένως οι εταιρείες για ελάττωση του κόστους επιλέγουν αγωγούς που κατασκευάζονται απο το αλουμίνιο. Το μέγεθος των αγωγών είναι κατάλληλα επιλεγμένο για τις απαιτήσεις της κάθε διεργασίας. [10]. Άλλο ένα σημαντικό κομμάτι της μεθόδου όσον αφορά τον εξοπλισμό της

μεθόδου ηλεκτροδότησης των πλοίων από την ξηρά είναι η εγκατάσταση υποδοχής καλωδίων τροφοδοσίας.



Εικόνα 3.4: Εγκατάσταση υποδοχής καλωδίων τροφοδοσίας.

Οι συγκεκριμένες εγκαταστάσεις κατά κανόνα τοποθετούνται στις άκρες του λιμανιού και συνδέονται με τους αποξεύκτες οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο, την προστασία και την απομόνωση των πηγής και φορτίου. Καθώς εγκαθίστανται τα καλώδια στις εγκαταστάσεις αυτές, τοποθετούνται και κάποια συστήματα διαμανδαλώσεων (interlocking system) τα οποία διασφαλίζουν την εύρυθμη λειτουργία ολόκληρης της εγκατάστασης. Η διαμανδάλωση χρησιμοποιείται για την απομόνωση της πηγής ισχύος και τίθεται εκτός λειτουργίας όταν το κατάλληλα καταρτισμένο προσωπικό θέλει να προβεί σε κάποιο έλεγχο στον εξοπλισμό ή σε κάποιες άλλες περιοχές της εγκατάστασης που είναι επικίνδυνες. Επομένως χρησιμοποιούμε το σύστημα διαμανδάλωσης πάνω στον αποξεύκτη για να είναι εφικτός ο διαδοχικός έλεγχος και να διασφαλίζεται το αναγκαίο επίπεδο ασφάλειας για τα μέλη του προσωπικού του λιμανιού καθώς τα τελευταία χρόνια συμβαίνουν πολλά ατυχήματα στα λιμάνια (ηλεκτροπληξίες κ.α.). Τα κλειδιά εισέρχονται όπως προαναφέρθηκε στο κοντινότερο πεδίο διανομής (switchgear) το οποίο τροφοδοτείται από το πεδίο διανομής του μετασχηματιστή. Τα κλειδιά μπαίνουν στις κλειδαρότρυπες των διακοπών και αρχίζουν να περιστρέφονται. Τότε οι διακόπτες μπορούν να σταματήσουν την λειτουργία τους. Με το που κλείσει ο διακόπτης όλα τα κλειδιά ασφαλιζονται και παραμένουν εγκλωβισμένα. Στην συνέχεια ακολουθεί και η αντίστοιχη εικόνα στην διαδικασία που μόλις περιγράφηκε. [10].



Εικόνα 3.5: Υποδοχή εγκατάσταση καλωδίων τροφοδοσίας.

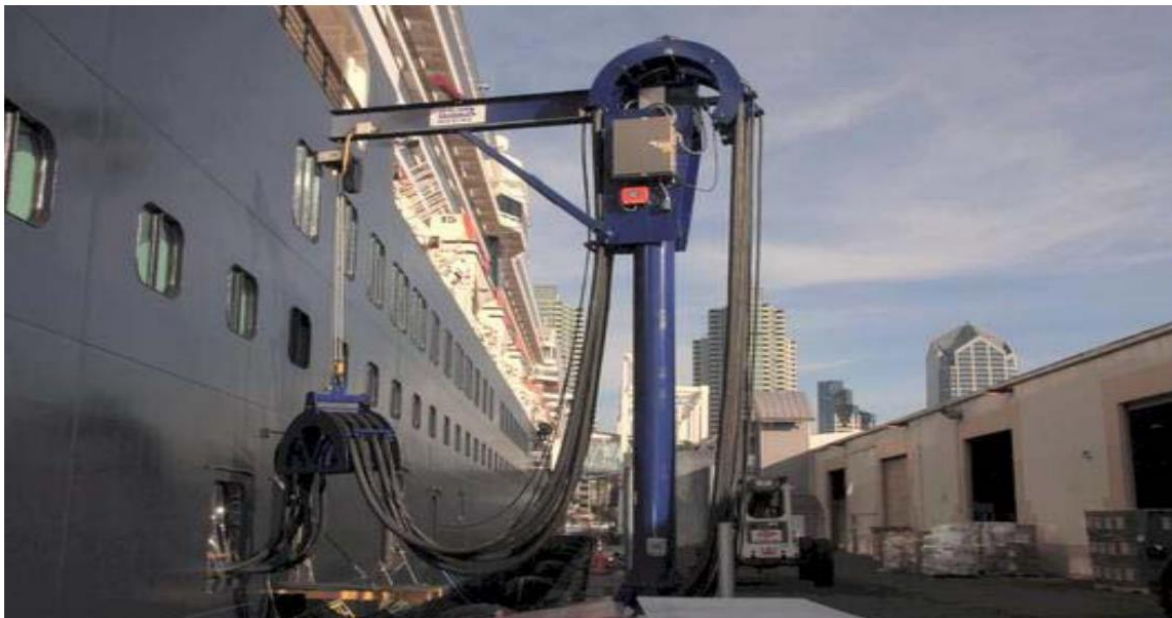
Η ηλεκτρική ενέργεια από την πλευρά της ξηράς συγχρονίζεται με αυτήν του πλοίου και τη στιγμή εκείνη που επιτυγχάνεται ο συγχρονισμός, ο διακόπτης στο πλοίο ξεκινά να λειτουργεί (κατάσταση on) και αρχίζει και του διοχετεύεται ενέργεια από την ξηρά. Επομένως οι κινητήρες του πλοίου και το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούν πλέον να σταματήσουν την λειτουργία τους αφού δεν χρειάζεται να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Αρκετοί λιμένες έχουν ενσωματώσει εγκαταστάσεις υποδοχής καλωδίων τροφοδοσίας ανά 70 μέτρα, διότι δεν έχουν την δυνατότητα να γνωρίζουν το σημείο που θα αγκυροβολήσει το πλοίο αλλά από ποια ακριβώς πλευρά του πλοίου βρίσκεται η υποδοχή για τα καλώδια. Άρα σε κάθε αποβάθρα προτείνεται να υπάρχουν περίπου έξι εγκαταστάσεις τέτοιων σημείων τροφοδοσίας. [13].

3.4 Τρόποι Σύνδεσης καλωδίων με τα πλοία.

Οι τρόποι σύνδεσης των καλωδίων με τα πλοία είναι αρκετοί και εξαρτώνται κυρίως από τον εκάστοτε λιμένα και την τεχνολογία (εφαρμογή) που έχει επιχειρήσει να αναπτύξει.

Παρακάτω θα αναφερθούν διάφοροι τρόποι διασύνδεσης των καλωδίων με τα πλοία μετά απο ενδεδειγμένη αναζήτηση πάνω στην συγκεκριμένη υλοποίηση:

- Ο πιο δημοφιλής τρόπος που χρησιμοποιείται στους περισσότερους λιμένες είναι η χρήση γερανού. Στην περίπτωση αυτή ο γερανός τοποθετείται στην άκρη του λιμανιού για να μεταφέρει τα καλώδια που έρχονται απο την εγκατάσταση υποδοχής καλωδίων τροφοδοσίας πάνω στο πλοίο, ώστε να γίνει η σωστή τοποθέτηση. Η παρακάτω εικόνα μας δείχνει την πλήρη τοποθέτηση των καλωδίων πάνω στο πλοίο.



Εικόνα 3.6: Γερανός μεταφοράς καλωδίων.

- Ακόμα ένας δημοφιλής τρόπος διασύνδεσης των καλωδίων στο πλοίο είναι η μεταφορά των καλωδίων πάνω στο πλοίο πλέον. Επομένως γλιτώνουμε τις παραπάνω εγκαταστάσεις στο λιμάνι αλλά και η διαδικασία τροφοδότησης από την ξηρά γίνεται πιο γρήγορη. Στην περίπτωση αυτή το καρούλι είναι τοποθετημένο πάνω στο πλοίο και όταν αυτό σταθμεύσει ξετυλίγεται το καλώδιο απο το καρούλι και συνδέεται στις εγκαταστάσεις υποδοχής καλωδίων τροφοδοσίας. [10]

3.5 Εξοπλισμός στα πλοία και Σημαντικές εταιρείες στην μέθοδο της ηλεκτροδότησης απο την ξηρά

Μετά απο ενδεδειγμένη ανάλυση του εξοπλισμού που χρειάζεται να υπάρχει στον κάθε λιμένα για την επίτευξη της μεθόδου της ηλεκτροδότησης των πλοίων από την ξηρά, σε αυτήν την ενότητα θα αναλυθεί ο εξοπλισμός που θα πρέπει να έχει κάθε πλοίο ώστε να επιτευχθεί η νέα αυτή τεχνολογία (cold ironing). Ο εξοπλισμός του πλοίου δεν διαφέρει σε μεγάλο βαθμό απο αυτόν που πρέπει να διαθέτουν οι λιμένες. Ο μετασχηματιστής και οι αγωγοί άλλοτε βρίσκονται πάνω στο πλοίο και άλλες φορές βρίσκονται στη στεριά. Σε πολλά λιμάνια σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες, κατά την πραγματοποίηση της μεθόδου πολλά λιμάνια χρησιμοποιούν ένα σύστημα φορτηγίδας (μπάριζα) όπου έχει τα καλώδια και τον μετασχηματιστή. Αλλά συνίσταται ο εξοπλισμός των καλωδίων και του μετασχηματιστή να υπάρχουν πάνω στο καράβι. Τα συστήματα διανομής που είναι ένα απο τα κυριότερα μέρη

της μεθόδου είναι και αρκετά πολύπλοκα. Αρκετά πλοία σήμερα κατέχουν συστήματα διανομής 440 V ή και κάποια άλλα πιο πρόσφατα και μεγάλα πλοία διαθέτουν τάση διανομής 6.6 kV. Επομένως τα πλοία θα πρέπει να είναι σε λειτουργία στις τιμές που προαναφέρθηκαν και σε συχνότητα 50 Hz. Διαπιστώθηκαν αρκετά προβλήματα για την διανομή τάσεως στα 440 V, διότι η διανομή αυτή δεν είναι η κατάλληλη για ηλεκτροδότηση από την ξηρά. Η καταλληλότερη διανομή τάσεως είναι αυτή των 6.6 kV μαζί με έναν μετασχηματιστή που την υποβιβάζει, τοποθετημένο στην άκρη της αποβάθρας ή στο πλοίο ώστε να παρέχει τα απαιτούμενα 440 V. Εν κατακλείδι για τον συγχρονισμό της ενέργειας στο πλοίο ώστε να πραγματοποιηθεί η μέθοδος αυτή και να γίνει η μετάβαση από την ηλεκτροδότηση του πλοίου από το εσωτερικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας τους πετρελαιοκινητήρες του πλοίου ενώ είναι αγκυροβολημένο στην ηλεκτροδότηση από την ξηρά, χρησιμοποιούνται αρκετές μέθοδοι. Μία μέθοδος από αυτές είναι, να σταματήσουν πλέον οι ηλεκτρογεννήτριες του πλοίου να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και να γίνει η σύνδεση με την ηλεκτροδότηση από την ξηρά ενώ το πλοίο έχει τη δυνατότητα να παραμένει πλήρως λειτουργικό με την ενέργεια από την ξηρά, ώστε να αποφεύγονται κάποιες διαταραχές της τάσης τροφοδοσίας. Στα κρουαζιερόπλοια η ασφαλής παροχή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς τα διάφορα υποσυστήματα που τροφοδοτούνται από το σύστημα διανομής του πλοίου, σε περιπτώσεις διαταραχών υπάρχουν μεγάλες πιθανότητες να υποστούν σημαντικές βλάβες ενώ τα πλοία εμπορευματοκιβωτίων όπου σημαντική μερίδα του φορτίου είναι τα reefers έχουν την δυνατότητα να αντέξουν κάποια αυξομείωση της ηλεκτρικής ενέργειας ή ακόμη και μιας διακοπής της ηλεκτροδότησης, αλλά οι διακοπές παροχής ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να προκαλέσουν πολλές καταστροφές στον εξοπλισμό. [10].Σημαντικές εταιρείες που είναι οι κυριότεροι προμηθευτές μηχανημάτων και συστημάτων για την μέθοδο της ηλεκτροδότησης των πλοίων από την ξηρά είναι οι εξής:

- **ABB**

Η ABB είναι ένας από τους κυριότερους προμηθευτές συστημάτων για τα πλοία και τους λιμένες σε όλη την οικουμένη. Ειδικεύεται στο να προμηθεύει γενικούς πίνακες σε σκάφη αλλά ήταν και η πρώτη εταιρεία που ανέλαβε να κατασκευάσει την πρώτη γραμμή υψηλής τάσης από την στεριά αποκλειστικά για RO/RO πλοία. Επομένως είναι η πρώτη εταιρεία που ανέλαβε την ηλεκτροδότηση του πλοίου από την στεριά, θέτοντας τα θεμέλια γι' αυτήν την μέθοδο.

- **Sam Electronics**

Η Sam Electronics τα τελευταία χρόνια έχει παραδώσει πολλά έργα τόσο σε πλοία όσο και σε λιμένες, αλλά και εξοπλίζει με διάφορα συστήματα λιμένες και πλοία. Η εταιρεία αυτή κατέχει σημαντική θέση στην αγορά αυτή, διότι έχει αναπτύξει σπουδαίες τεχνολογίες τόσο για τα δίκτυα χαμηλής τάσης όσο και για δίκτυα υψηλής τάσης.

- Cavotec

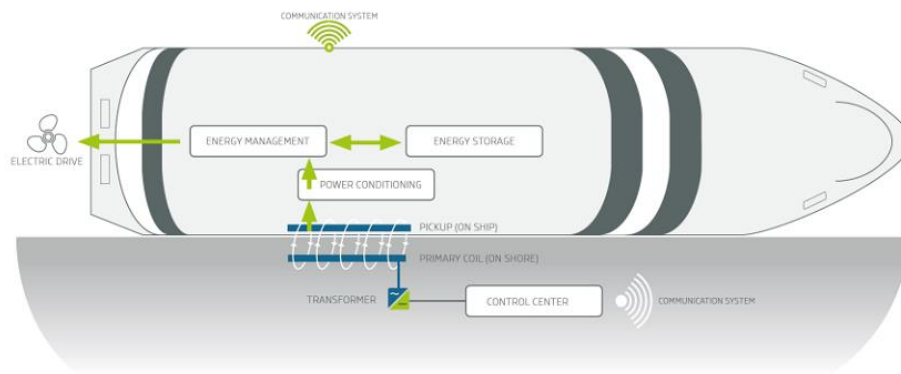
Η εταιρεία έχει μεγάλη εμπειρία στα συστήματα ηλεκτροδότησης των πλοίων από την ξηρά. Έχει αναπτύξει καινούργια συστήματα όσον αφορά κυρίως τον τρόπο σύνδεσης των πλοίων με τα λιμάνια. Η Cavotec έχει εξοπλίσει ήδη 14 πλοία ενώ στον ίδιο αριθμό κυμαίνονται και οι εγκαταστάσεις εξοπλισμού σε λιμάνια. [14]

3.6. Ασύρματη φόρτιση πλοίων

Τις τελευταίες δεκαετίες η ασύρματη φόρτιση χρησιμοποιείται κυρίως στα αυτοκίνητα και στα τρένα, αλλά τα τελευταία χρόνια η συγκεκριμένη τεχνολογία της ασύρματης φόρτισης χρησιμοποιείται και στα πλοία. Τα κύρια οφέλη για τους πλοιοκτήτες είναι μέχρι και 20% μεγαλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου χρόνου φόρτισης αλλά και μεγαλύτερη ασφάλεια λειτουργικότητας καθώς η αξιοπιστία του συγκεκριμένου συστήματος είναι υψηλότερη από ότι ήταν στην ενσύρματη φόρτιση πλοίων που εκεί είχαμε την χρήση άλλων συστημάτων. Για τα υβριδικά – ηλεκτροπροωθούμενα πλοία που έχουν την δυνατότητα ασύρματης φόρτισης υψηλής ισχύος για τους συσσωρευτές τους (μπαταρίες) η ασύρματη φόρτιση προσφέρει αρκετά οφέλη που θα αναφερθούν παρακάτω:

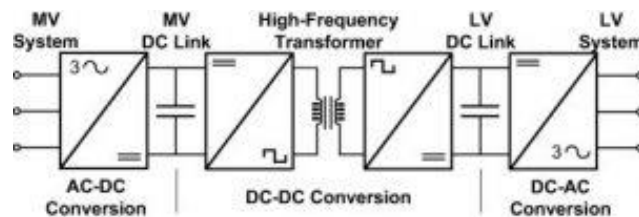
- Πλέον δεν υπάρχει σύνδεση καλωδίου μεταξύ πλοίου και στεριάς.
- Έχει τη δυνατότητα να εξασφαλίσει ασφαλείς συνδέσεις και αποσυνδέσεις.
- Η συντήρηση εκμηδενίζεται καθώς δεν υφίσταται φθορά στις φυσικές γραμμές σύνδεσης. (καλώδια και άλλα συστήματα που αναλύθηκαν σε προηγούμενη ενότητα στην μέθοδο της ενσύρματης ηλεκτροδότησης ελλιμενισμένων πλοίων απο την ξηρά.)

Το σύστημα της ασύρματης φόρτισης έχει ως βάση την επαγωγική μεταφορά ισχύος και έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει πάνω από ένα εκατομμύριο μονάδων ηλεκτρικής ισχύος (MW). Η τεχνολογία και το σύστημα που χρησιμοποιεί είναι καταλλήλως σχεδιασμένο για να μεταφέρει αποτελεσματικά την ηλεκτρική ισχύ σε απόσταση 60 εκατοστών ανάμεσα στις δύο πλάκες φόρτισης που είναι εγκατεστημένες η μία στην πλευρά του πλοίου και η άλλη σε ένα ειδικό βραχίονα στην αποβάθρα. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε σχηματικά την μεταφορά της ισχύος.

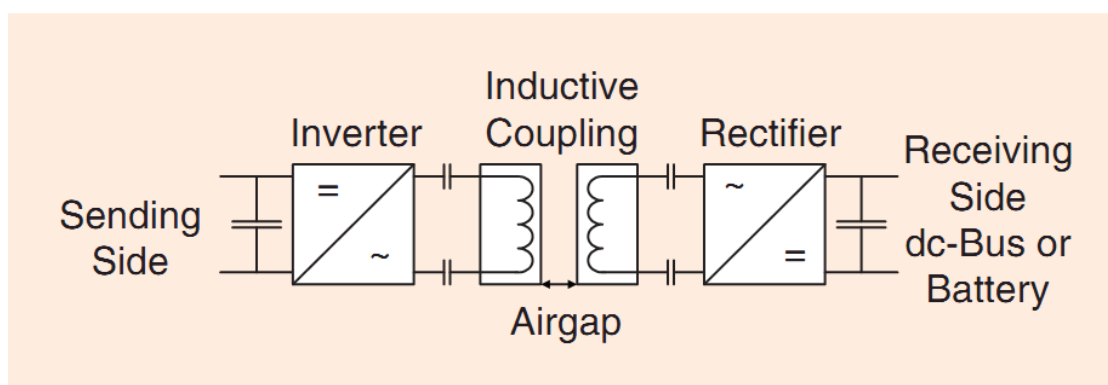


Εικόνα 3.7: Εφαρμογή ασύρματης φόρτισης σε πλοίο.

Η αρχή λειτουργίας τώρα του συστήματος επαγωγικής φόρτισης μοιάζει με την λειτουργία των μετασχηματιστών, όπου η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται απο το πρωτεύον στο δευτερεύον πηνίο. Στην επαγωγική φόρτιση, τα πηνία μετάδοσης και λήψης βρίσκονται σε κατάσταση λειτουργίας σαν ένας ασθενώς συζευγμένος μετασχηματιστής που αφήνει την διοχέτευση της ισχύος απο ένα αρκετά μεγάλο διάκενο. Η περιγραφή της επαγωγικής φόρτισης και τα στάδια της ασύρματης φόρτισης παρουσιάζονται μέσω των παρακάτω σχημάτων:



Εικόνα 3.8: Περιγραφή επαγωγικής φόρτισης.



Εικόνα 3.9: Στάδια της ασύρματης φόρτισης

Στην συνέχεια ακολουθεί μία απεικόνιση της τεχνολογίας της ασύρματης μεθόδου μέσω μιας εταιρείας που ειδικεύεται στην εγκατάσταση του εξοπλισμού που χρειαζόμαστε για να εκτελεστεί η συγκεκριμένη μέθοδος ηλεκτροδότησης απο την ξηρά. Η εταιρεία αυτή είναι η Wartsila η οποία συνεχώς αναπτύσσει και εγκαθιστεί σε πλοία τεχνολογίες

φιλικότερες προς το περιβάλλον. Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται, μία διάταξη για υβριδικό ηλεκτροπροωθούμενο πλοίο με δυνατότητα φόρτισης μέσω ασύρματης επαγωγικής φόρτισης (wireless inductive charging). (πηγή)



Εικόνα 3.10: Η ασύρματη φόρτιση σε πλήρη λειτουργία μέσω της εταιρείας Cavotec.

3.7. Είδη Ηλεκτροπροωθούμενων πλοίων

Στην συγκεκριμένη παράγραφο του κεφαλαίου θα πραγματοποιηθεί εκτενής αναφορά σε όλα τα είδη ηλεκτροπρώσης που μπορούμε να συναντήσουμε. Σε προηγούμενο κεφάλαιο έγινε αναφορά στην ηλεκτροπρώση μέσω ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους το οποίο παράγει ηλεκτρική ενέργεια με την οποία τροφοδοτείται το αζιμουθιακό σύστημα μέσω κατάλληλων μετατροπέων. Στις παρακάτω υποπαραγράφους θα πραγματοποιηθούν οι αναλύσεις για δύο πολύ σημαντικές τεχνολογίες για το μέλλον.

Μάλιστα η τεχνολογία των υβριδικών ηλεκτροπροωθούμενων πλοίων χρησιμοποιείται από αρκετούς πλοιοκτήτες, καθώς υπάρχουν αρκετές εταιρείες οι οποίες αναλαμβάνουν τέτοιου είδους εγκαταστάσεις τόσο σε νέα πλοία όσο και σε μετασκευές συμβατικών πλοίων, ενώ τα ηλεκτροπροωθούμενα πλοία με κυψέλες καυσίμου (Fuel cell) είναι μία τεχνολογία η οποία τώρα μελετάται και εξετάζεται, ώστε να είναι διαθέσιμη για τα επόμενα χρόνια ώστε να κατακτήσει την αγορά.

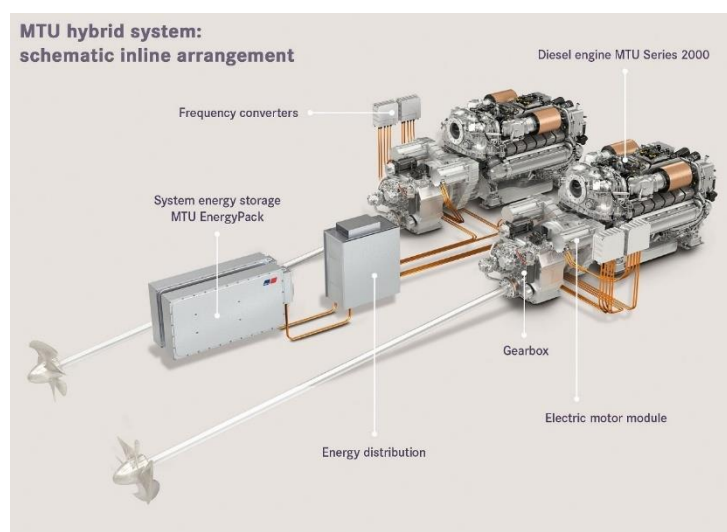
3.8. Υβριδικά Ηλεκτροπροωθούμενα Πλοία

Η αναζήτηση τρόπων και μεθόδων ελάττωσης των ρύπων απο τα πλοία προς το περιβάλλον, οδήγησε τους πλοιοκτήτες δεδομένων και των αυξημένων απαιτήσεων για πλοία αποτελεσματικότερα και φιλικότερα προς το περιβάλλον, στην υιοθέτηση νέων τεχνολογιών πρόωσης πλοίων, υιοθετώντας καινοτόμες λύσεις όπως:

- Ηλεκτροπροωθούμενα πλοία
- Πλοία με ενεργειακά στοιχεία υδρογόνου (κυψελών καυσίμου)
- Πλοία πρόωσης υβριδικού τύπου

ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΠΡΩΣΗ ΠΛΟΙΩΝ

Υβριδική πρόωση πλοίων έχουμε στα πλοία τα οποία έχουν κύρια πετρελαιομηχανή (Diesel) και αξονικές γεννήτριες με σκοπό την μεγαλύτερη βελτιστοποίηση της λειτουργίας αυτού βασισμένη στην ελαστικότητα της χρήσης της αξονικής γεννήτριας πάντα προς συμφέρον της ενεργειακής βελτιστοποίησης του πλοίου με βάση την πρόωση του. Η βέλτιστη χρήση της αξονικής γεννήτριας έχει ως σκοπό την μείωση της κατανάλωσης καυσίμου αλλά και την απόδοση της μηχανής στην βέλτιστη κατάσταση λειτουργίας της, ώστε να μας δώσει μεγάλη ισχύ σε πολλές στροφές (MCR). Η ηλεκτρική μηχανή όπως έχει προαναφερθεί μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως γεννήτρια αλλά και ως κινητήρας. Αυτός είναι ο κυριότερος λόγος που μας δίνει την δυνατότητα για ευελιξία στην μέθοδο της πρόωσης που θα χρησιμοποιήσει ένα οποιοδήποτε πλοίο. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένα υβριδικό σύστημα (MTU hybrid System).



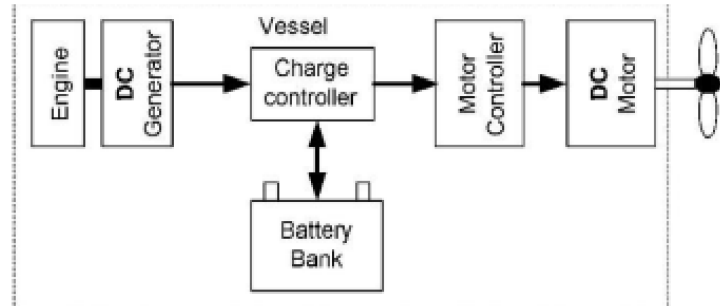
Εικόνα 3.11: Υβριδικό σύστημα πρόωσης.

3.9. Είδη ηλεκτροπροωθούμενων – υβριδικών συστημάτων

3.9.1.1. Σειριακό Υβριδικό Σύστημα (Σ.Υ.Σ.)

Στο σειριακό υβριδικό σύστημα, ο ηλεκτροκινητήρας είναι ο μοναδικός που μπορεί να κινήσει την έλικα με την παροχή ισχύος σε αυτήν. Ένα μοντέλο υβριδικής πρόωσης που συναντάμε σε πολλές εγκαταστάσεις υβριδικών ηλεκτροπροωθούμενων πλοίων είναι ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και την διοχετεύουν σε συστοιχίες συσσωρευτών, οι οποίες με τη σειρά τους τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια τον ηλεκτροκινητήρα. Επιπρόσθετα, ο ηλεκτροκινητήρας εκτός από τους συσσωρευτές μπορεί να λάβει ηλεκτρική ενέργεια από μία ηλεκτρική γεννήτρια η οποία λειτουργεί μέσω μίας μηχανής εσωτερικής καύσης είτε μπορεί να λάβει ενέργεια από ανανεωσιμές πηγές οι οποίες είναι εγκατεστημένες πάνω στο πλοίο. Επομένως αυτό δίνει την δυνατότητα στο πλοίο να συνεχίσει να λειτουργεί και μετά την αποφόρτιση των συσσωρευτών καθώς θα υπάρχει η μηχανή εσωτερικής καύσης η οποία μόλις οι συσσωρευτές αποφορτίζονται θα ενεργοποιείται και είτε θα διοχετεύει ηλεκτρική ενέργεια σε μία ηλεκτρική γεννήτρια η οποία θα διοχετεύει

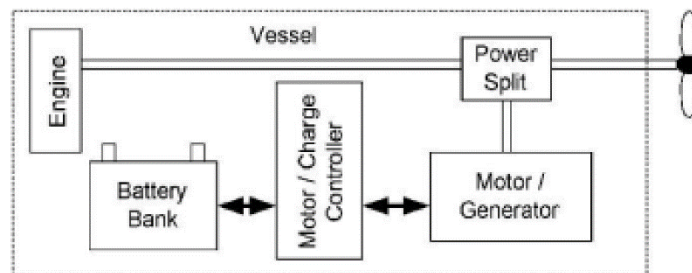
ηλεκτρική ενέργεια στον ηλεκτροκινητήρα είτε θα είναι υπεύθυνη για την φόρτιση των συσσωρευτών . Παρακάτω απεικονίζεται το σειριακό υβριδικό σύστημα.



Εικόνα 3.12: Σειριακό Υβριδικό Σύστημα

3.9.1.2. Παράλληλο Υβριδικό Σύστημα (Π.Υ.Σ.)

Στο παράλληλο υβριδικό σύστημα δίνεται η δυνατότητα ώστε η μηχανή εσωτερικής καύσης (engine) αλλά και η ηλεκτρική μηχανή (Motor/Generator) όταν τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια από τους συσσωρευτές λειτουργεί σαν ηλεκτροκινητήρας (Motor) και μπορούν να παρέχουν ισχύ στην έλικα. Η ηλεκτρική μηχανή (Motor/Generator) έχει τη δυνατότητα και να κινεί την έλικα (Motor) αλλά και να λειτουργεί ως γεννήτρια (Generator) και να φορτίζει τους συσσωρευτές, όταν λαμβάνει μηχανική ενέργεια. Στην επόμενη εικόνα αναπαρίσταται το παράλληλο υβριδικό σύστημα.



Εικόνα 3.13: Παράλληλο Υβριδικό Σύστημα.

3.9.1.3. Σειρακό/Παράλληλο Υβριδικό Σύστημα (ΣΠΥΣ)

Ο τρίτος τύπος υβριδικού συστήματος είναι ένας συνδυασμός των δύο παραπάνω μεθόδων, συνδυάζοντας τα θετικά και τα αρνητικά των δύο αυτών μεθόδων.

3.9.1.4. Πλήρως Εξηλεκτρισμένο Σύστημα (ΠΕΣ)

Στο πλήρως εξηλεκτρισμένο σύστημα έχουμε έναν ηλεκτρικό κινητήρα ο οποίος τροφοδοτείται απο συσσωρευτές οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στο πλοίο. Για την φόρτιση των μπαταριών χρησιμοποιούμε είτε την φόρτιση απο την ξηρά (cold ironing) ή την ασύρματη φόρτιση, που αναλύθηκαν εκτενώς σε προηγούμενη παράγραφο, είτε από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (πχ. φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, κυψέλες καυσίμου υδρογόνου κ.α.) οι οποίες εγκαθίστανται πάνω στο πλοίο. Η ύπαρξη ενός Πλήρως Εξηλεκτρισμένου Πλοίου (Π.Ε.Π) εξαρτάται από το αν η μπαταρίες (συσσωρευτές) είναι σε

θέση να καλύψουν όλες τις ενεργειακές απαιτήσεις που χρειάζεται το σκάφος (πλοίο) αλλά και από την ικανότητα προσαρμογής στο μέγεθος και στο βάρος των μπαταριών κατά τη σχεδίαση του. Η εξέλιξη τα τελευταία χρόνια όμως στους συσσωρευτές δίνει τη δυνατότητα στους πλοιοκτήτες να χρησιμοποιούν τα πλήρη εξηλεκτρισμένα πλοία χωρίς το πλοίο να υπερφορτώνεται καθώς το μέγεθος και το βάρος των συσσωρευτών ολοένα και μικραίνει. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κάνουν ακόμα περισσότερο ελκυστικά τα πλήρως εξηλεκτρισμένα πλοία, διότι τα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη είναι πολύ μεγάλα για να μην στραφεί ένας πλοιοκτήτης τα επόμενα χρόνια προς αυτά και τις υβριδικές μεθόδους πρόωσης που αναλύθηκαν.

3.9.2. Στάδια Μελέτης Σχεδίασης και Κατασκευής Υβριδικού / Ηλεκτρικού Συστήματος πρόωσης

Για την σχεδίαση και την κατασκευή ενός συστήματος με υβριδική ηλεκτροπρόωση θα πρέπει να γίνονται πλήρως ξεκάθαρα τα παρακάτω:

1. Το είδος των κινητήριων μηχανών:

- Πετρελαιοκινητήρες
- Ατμοστρόβιλοι
- Συσσωρευτές / ηλεκτροχημικές κυψέλες καυσίμου

2. Τα χαρακτηριστικά του δικτύου:

- DC-AC
- Η τιμή της ηλεκτρικής τάσης παραγωγής

3. Τα είδη των γεννητριών και αν λειτουργούν παράλληλα ή μη

4. Το ποσοστό αυτοματισμού

5. Το είδος ελέγχου χειρισμού των κινητήρων προώσεως

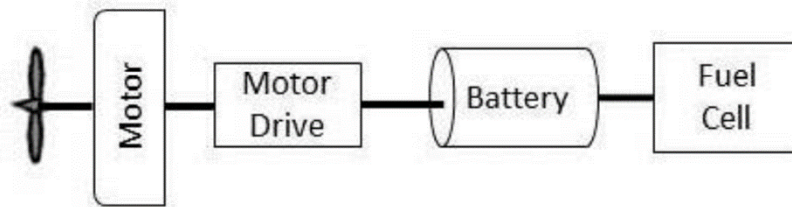
6. Οι ελάχιστες απαιτήσεις σε καταστάσεις ανάγκης.

7. Η εγκατάσταση των γεννητριών. [26]

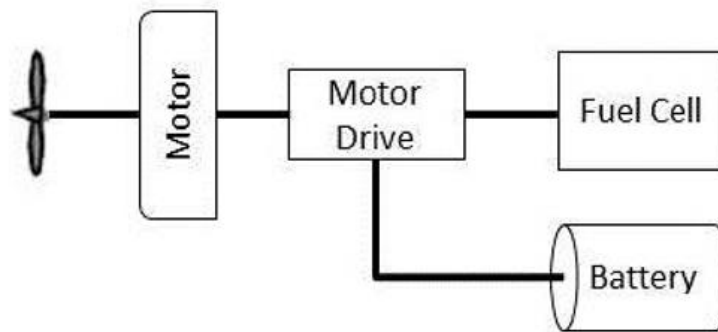
3.9.2.1. Ηλεκτρική πρόωση Υβριδικό Μοντέλο Fuel CELLS-BATERIES

Τα συστήματα πρόωσης υβριδικών κυψελών καυσίμου τα οποία περιέχουν και ένα σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας έχουν δοκιμαστεί σε πολλές εφαρμογές με μεγάλη αποδοτικότητα, όπως στην αυτοκινητοβιομηχανία βελτιστοποιώντας την απόδοση και εξαλείφοντας εκπομπές CO₂. Τα συστήματα αυτά έχουν υψηλή πυκνότητα ισχύος (ενέργειας) στις κυψέλες καυσίμου και υψηλή πυκνότητα ισχύος στις συστοιχίες επομένως επιτυγχάνεται μεγάλη απόδοση κάτι που είναι και η επιθυμία μας κατά το σχεδιασμό του νέου αυτού υβριδικού συστήματος και μειώνουν την ανάγκη για μεγάλες ποσότητες καύσιμου, επομένως μειώνουν και τις εκπομπές αέριων ρύπων (CO₂). Στα συστήματα αυτά ο σκοπός των κυψελών καυσίμου είναι να παράξουν ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας καύσιμα

όπως το υδρογόνο, αναλόγως το είδος (τύπο) της κυψέλης καυσίμου και η ηλεκτρική ενέργεια πηγαίνει προς το σύστημα πρόωσης ώστε να «κινήσει» τους ηλεκτροκινητήρες ή η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη φόρτιση των συστοιχιών ή των πυκνωτών δηλαδή των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Η απόδοση αυτών των συστημάτων που προαναφέρθηκαν βασίζονται από τον βαθμό υβριδισμού. Έχουμε δύο τεχνικές υβριδικών κυψελών καυσίμου για την πρόωση του πλοίου και είναι η σειρά υβριδικών και παράλληλων υβριδικών όπως διαπιστώνουμε και στις παρακάτω εικόνες:



(α)



(β)

Εικόνα 3.14: (α): Σειριακό Υβριδικό Σύστημα Ηλεκτρικής Πρόωσης, (β): Παράλληλο Υβριδικό Σύστημα Ηλεκτρικής Πρόωσης.

Τα συστήματα κυψελών καυσίμου έχουν αρκετά θετικά στοιχεία να συνηφέρουν στον σχεδιασμό και στην αρχιτεκτονική του εκάστοτε πλοίου. Αρχικά μειώνεται ο θόρυβος, εκμηδενίζονται οι εκπομπές αερίων NOx αλλά επιτυγχάνεται και υψηλή απόδοση στο εύρος της χαμηλής ισχύς. Επιπρόσθετα η αρχιτεκτονική σχεδίασης τους είναι αρθρωτή επομένως υπάρχει η δυνατότητα της ενσωμάτωσής τους με άλλα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν και αρκετά μειονεκτήματα για τα συστήματα κυψελών καυσίμου όπως είναι το μεγάλο κόστος αγοράς τους αλλά και την χαμηλή ισχύ που παράγουν ανεξαρτήτου τύπου κυψέλης καυσίμου. Επίπροσθετα έχει παρατηρηθεί ότι οι κυψέλες καυσίμου έχουν χαμηλή διάρκεια ζωής ανεξαρτήτου τύπου κυψέλης καυσίμου.

Ακόμα ο τρόπος εφοδιασμού καυσίμων αλλά και η σχετικά ακριβή τιμή τους κάνει ακόμα πιο περίπλοκη την ενσωμάτωση των κυψελών καυσίμου στη ναυτιλία. Σύμφωνα με κάποια προγράμματα που έχουν πραγματοποιηθεί είναι δυνατή η εγκατάστασή τους σε σκάφη αναψυχής όπου η ζήτηση ενέργειας είναι χαμηλότερη από κάποιο μεγαλύτερο πλοίο,

μία συνθήκη η οποία ευνοεί τις κυψέλες καυσίμου και είναι πιο εύκολο να εγκατασταθεί σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου. Στις περιπτώσεις των μεγάλων πλοίων όπως είναι τα ferry που απαιτούν μεγάλη ισχύ απαιτούν ενιαίο σύστημα πάνω στο πλοίο για την παραγωγή και την αποθήκευση του καυσίμου που χρησιμοποιείται στις κυψέλες καυσίμου.

Το σύστημα που θα χρειαστούμε για την παραγωγή αλλά και για την αποθήκευση του καυσίμου είναι ο κύριος παράγοντας που ακόμα δεν χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα οι κυψέλες καυσίμου. Ο ΙΜΟ έχει αρχίσει την ανάπτυξη ενός νέου εγχειρίματος όπου θα γίνεται η χρήση διαφορετικών αερίων καυσίμου όπως τα υγρά καυσίμων (απευθείας από τη θάλασσα) με σημείο ανάφλεξης κάτω των 55 °C. Με αυτό τον τρόπο τα συστήματα των κυψελών καυσίμου θα κυριαρχήσουν στη ναυτιλία στο άμεσο μέλλον.[27].

3.9.3. Υβριδική πρόωση σε Χρήση

3.9.3.1. Φορτηγό πλοίο με όνομα 'Paolo Topic'

Η εταιρεία Wartsila δημιούργησε το πρώτο υβριδικό σύστημα για φορτηγά πλοία. Η εγκατάσταση του υβριδικού συστήματος θα πραγματοποιηθεί στην Ιαπωνία σε ένα φορτηγό πλοίο με όνομα 'Paolo Topic' της εταιρείας Marfin Management. Η υβριδική μονάδα ισχύος Wartsila θα εγκαταστήσει τις καινούργιες τεχνολογίες χωρίς να αφαιρέσει τα συστήματα παραγωγής ισχύος του πλοίου που ήδη προϋπάρχουν. Για να πραγματοποιηθεί αυτή η ενσωμάτωση των τεχνολογιών για το υβριδικό σύστημα γίνεται χρήση ενός ειδικού συστήματος διαχείρισης ενέργειας (Energy Management System - EMS) το οποίο θα έχει τη δυνατότητα να ελέγχει τους κινητήρες, τους συσσωρευτές αλλά και τα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και για πρώτη φορά θα ελέγχει και τα φωτοβολταϊκά που θα εγκατασταθούν στο συγκεκριμένο πλοίο. Η υβριδική αυτή τεχνολογία θα οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης καυσίμου αλλά θα μειωθούν δραστικά και τα χρήματα που έδινε η συγκεκριμένη εταιρεία για την συντήρηση. Βέβαια και τα περιβαλλοντικά οφέλη θα είναι τεράστια. Επομένως το 'Paolo Topic' θα είναι το πλέον προηγμένο φορτηγό πλοίο. Επίσης το σύστημα θα έχει μεγάλη απόδοση σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας, ακόμα και όταν φορτώνει ή ξεφορτώνει το φορτίο που μεταφέρει.

3.9.3.2. Πλοίο Copenhagen

Η εταιρεία Norse Power είναι έτοιμη να εγκαταστήσει ένα βοηθητικό σύστημα για πρόωση το (Rotor Sail Solution) στο πλοίο Copenhagen, το οποίο είναι ένα ήδη υβριδικό πλοίο συνδυάζοντας τις μηχανές diesel με τους συσσωρευτές. Το Rotor Sail είναι η πρώτη τεχνολογία για βοηθητική πρόωση η οποία εκμεταλλεύεται την αιολική ενέργεια που αυταπόδεικτα η ενεργειακή της αποδοτικότητα είναι πολύ μεγάλη. Η διαδρομή ανάμεσα στην Γερμανία και την Δανία την οποία καθημερινά το πλοίο εκτελεί, βοηθά τη χρησιμοποίηση των Rotor sails πάνω στο πλοίο καθώς επικρατούν πολλοί δυτικοί άνεμοι και η χρήση τους είναι κάτι παραπάνω απο ευνοϊκή σε αυτό το δρομολόγιο. Ο κυριότερος σκοπός της χρήσης τους είναι τα περιβαλλοντικά οφέλη αλλά και τα οικονομικά, καθώς δεν χρησιμοποιούμε καύσιμα αλλά η αιολική ενέργεια φορτίζει τους συσσωρευτές που έχουμε εγκατεστημένους στο πλοίο και οι συσσωρευτές διοχετεύουν με τη σειρά τους, ηλεκτρική ενέργεια στο σύστημα πρόωσης (Ηλεκτροκινητήρας). Περίπου απο το 2013 η Scandlines έχει ξοδέψει πάνω από 300 εκατομμύρια ώστε να γίνει η μετατροπή των συμβατικών πλοίων που είναι

πετρελαιοκίνητα σε υβριδικά. Σύμφωνα με το γενικό διευθυντή της εταιρείας η χρήση του βοηθητικού συστήματος πρόωσης Rotor Sail στο συγκεκριμένο θα οδηγήσει στην μείωση στους ρίπους περίπου στο 5%. Μάλιστα η Scandlines πήρε τα εύσημα για την μείωση στους εκπομπούς των ρύπων που πέτυχε με την συγκεκριμένη τεχνολογία από την γερμανική ένωση προστασίας του περιβάλλοντος (NABU) που συνεχίζει και επενδύει χρήματα στα πλοία για μία πιο βιώσιμη ναυτιλία και αυτό επιτυγχάνεται με την χρησιμοποίηση νέων τεχνολογικών μεθόδων στην πρόωση αλλά και στα άλλα υποσυστήματα του πλοίου. Όλες οι εταιρείες θα πρέπει να στραφούν προς την υβριδική πρόωση και στην υβριδική ηλεκτροδότηση των υποσυστημάτων του πλοίου η οποία εκτός απο συμφέρουσα οικονομικά είναι και μία επωφελής κίνηση προς το περιβάλλον. [15] [16].

3.9.4. Συνδυασμοί Τεχνολογιών για Υβριδική πρόωση

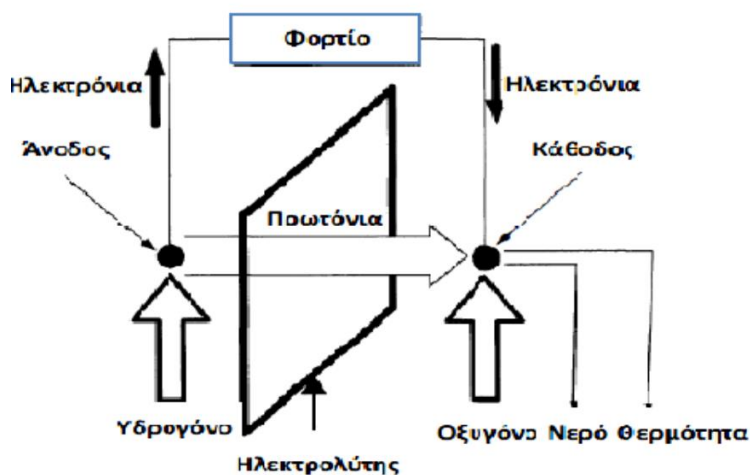
Αρχικά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ντιζελομηχανή και συσσωρευτές. Οι ντιζελομηχανές που συνδέονται με ηλεκτρικές γεννήτριες (Ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη) θα φορτίζουν τους συσσωρευτές και οι συσσωρευτές θα διοχετεύουν ηλεκτρική ενέργεια προς τους ηλεκτροκινητήρες. Επίσης όταν εκφορτίζονται οι συσσωρευτές, οι ντιζελομηχανές μπορούν να γίνουν κύριες ηλεκτρικές γεννήτριες οι οποίες θα διοχετεύουν ενέργεια στον ηλεκτροκινητήρα. Επίσης σε ένα υβριδικό σύστημα πρόωσης μπορούμε να έχουμε συσσωρευτές και εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά ή ανεμογεννήτριες πάνω στο σκάφος οι οποίες θα διοχετεύουν ηλεκτρική ενέργεια προς τους συσσωρευτές κι εκείνοι θα τροφοδοτούν τους ηλεκτροκινητήρες ώστε να ξεκινήσει το ηλεκτρικό πλέον σύστημα πρόωσης να κινεί την έλικα. Στη συγκεκριμένη μέθοδο βέβαια μπορούμε να έχουμε και ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος το οποίο θα είναι βοηθητικό σύστημα και θα συμβάλλει ενεργειακά κατά την διάρκεια του ταξιδιού όπου χρειαστεί. Βέβαια οι μέθοδοι που αναλύθηκαν για την πρόωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τα υπόλοιπα υποσυστήματα του πλοίου που έχουν ανάγκη την ηλεκτρική ενέργεια για να λειτουργήσουν.

3.9.5. Ηλεκτροπροωθούμενα Πλοία με κυψέλες καυσίμου (Fuel cells)

Τα Ηλεκτροπροωθούμενα πλοία με χρήση των κυψελών καυσίμου κυρίως με υδρογόνο είναι μία μέθοδος η οποία αρχίζει και αναπτύσσεται εντατικά τα τελευταία χρόνια και αρκετοί επιστήμονες αναφέρουν πως είναι η μέθοδος πρόωσης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για τα υπόλοιπα υποσυστήματα του πλοίου, η οποία θα απασχολήσει τους πλοιοκτήτες και τις εταιρείες του είδους τα επόμενα χρόνια. Αναφέρεται μάλιστα από διεθνείς έρευνες πως η συγκεκριμένη μέθοδος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω κυψελών καυσίμου τα επόμενα χρόνια θα αποτελέσει την κύρια μέθοδο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που θα χρησιμοποιείται στα περισσότερα ηλεκτροπροωθούμενα πλοία. Οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου ουσιαστικά είναι συστοιχίες κελιών εκ των οποίων η κάθε συστοιχία παράγει ηλεκτρισμό μετατρέποντας τη χημική ενέργεια της αντίδρασης του οξυγόνου με το υδρογόνο απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Η βασική αρχή για την λειτουργία των κυψελών καυσίμου είναι η μετατροπή της χημικής ενέργειας που περιέχεται σε καύσιμα (π.χ. υδρογόνο κ.α.) σε ηλεκτρική ισχύ και με αυτή τη διαδικασία εκμηδενίζονται σχεδόν:

- οι ηλεκτρικές απώλειες που έχουν οι άλλες μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- οι εκπομπές των κυψελών καυσίμου δεν περιέχουν τα προϊόντα καύσης (ρύπους) των άλλων μεθόδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. CO₂, Sox), που ευθύνονται για την μόλυνση του περιβάλλοντος.

Επομένως οι κυψέλες καυσίμου παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια μέσω των χημικών αντιδράσεων υδρογόνου και οξυγόνου που παρέχονται ξεχωριστά στην κυψέλη καυσίμου με τα στοιχεία της και αποτέλεσμα έχουν να παράγεται ηλεκτρική ενέργεια και καθαρό νερό ως υποπροϊόν. Υπάρχουν αρκετά είδη (τύποι) Κυψελών καυσίμου αλλά η μέθοδος είναι κοινή ώστε να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια που είναι και το προϊόν της ηλεκτροχημικής αντίδρασης από την χημική εξίσωση που λαμβάνει μέρος στο εσωτερικό της κυψέλης καυσίμου.

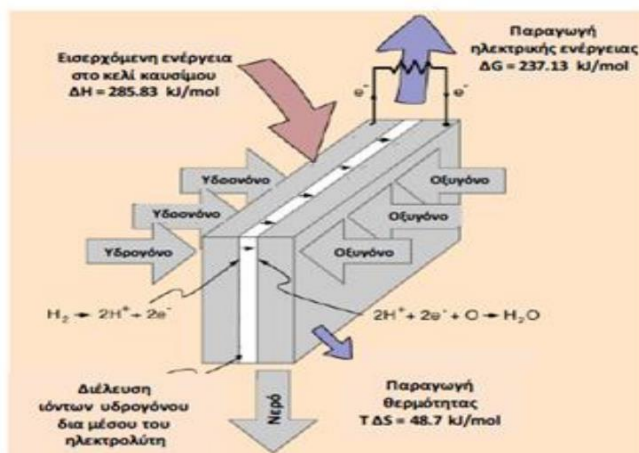


Εικόνα 3.15: Η λειτουργία ενός κελιού καυσίμου με συνεχή ροή πρωτονίων με τη χρήση ηλεκτρολύτη.

Οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου όπου είναι και οι πιο διαδεδομένες είναι συστοιχίες κελιών όπου η κάθε μία συστοιχία μετατρέπει την χημική ενέργεια της αντίδρασης (υδρογόνου με οξυγόνο) σε ηλεκτρική ενέργεια. Η δομή ενός από τα κελιά καυσίμου απαρτίζεται από δύο ηλεκτρόδια, όπου είναι η άνοδος και η κάθοδος και από ένα τμήμα ηλεκτρολύτη που εγκαθίσταται ανάμεσα τους. Η διαδικασία είναι να εισάγεται καταλύτης (ηλεκτρολύτης) με σκοπό την επίτευξη της χημικής αντίδρασης (οξειδωσης).

Στο κελί καυσίμου που βλέπουμε στην παραπάνω εικόνα, στην άνοδο εισέρχεται συνεχώς καύσιμο υδρογόνου ενώ στην κάθοδο εισέρχεται συνεχώς αέρας, το οξυγόνο του οποίου θα αντιδράσει με το υδρογόνο στο κάτω μέρος του κελιού ώστε να παραχθεί νερό. Αναλυτικότερα τα μόρια του υδρογόνου τα οποία εισέρχονται στην άνοδο διασκορπίζονται με την χρήση του καταλύτη ο οποίος έχει εισέλθει στην επιφάνεια και αποτελείται από ηλεκτρόνια και πρωτόνια. Τα ιόντα τώρα του υδρογόνου προωθούνται προς την κάθοδο με την βοήθεια του ηλεκτρολύτη, ενώ τα ηλεκτρόνια που δεν έχουν την δυνατότητα να περάσουν μέσα από τον ηλεκτρολύτη προωθούνται προς την κάθοδο μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος με την μορφή βέβαια του ηλεκτρικού ρεύματος. Στην κάθοδο έχουμε την διασύνδεση των ιόντων και των ηλεκτρονίων αλλά και με τα μόρια του οξυγόνου που προκύπτουν από τον εισερχόμενο αέρα επίσης μέσω του καταλύτη ώστε η αντίδραση να συμβεί πιο γρήγορα, ώστε να σχηματιστεί νερό και θερμότητα. Επομένως οι δύο εξισώσεις που συμβαίνουν μέσα σε ένα κελί καυσίμου είναι αυτή της οξειδωσης αλλά και της αναγωγής. Η αντίδραση της οξειδωσης στην άνοδο παράγει τα πρωτόνια και τα ηλεκτρόνια ενώ στην κάθοδο όπου συμβαίνει η αντίδραση της αναγωγής συνδέονται τα ηλεκτρόνια και τα

πρωτόνια του υδρογόνου με τα αντίστοιχα μόρια του οξυγόνου για να παραχθεί νερό. Η ηλεκτρική ενέργεια από τις κυψέλες καυσίμου παράγεται ως αποτέλεσμα της ροής των ηλεκτρονίων που διέπουν το εξωτερικό κύκλωμα.



Εικόνα 3.16 : Μία κυψέλη Καυσίμου (PEM)

3.9.5.1. Τα είδη των Κυψελών καυσίμου (Τύποι Κυψελών Καυσίμου)

Οι κυψέλες καυσίμου διαχωρίζονται αναλόγως τον ηλεκτρολύτη που διοχετεύουν στην κυψέλη και αναλόγως τον ηλεκτρολύτη αλλάζουν και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας της κάθε κυψέλης. Τα κύρια είδη που συναντάμε είναι τα ακόλουθα:

- Αλκαλικές κυψέλες καυσίμου (AFC), όπου ο ηλεκτρολύτης είναι ο KOH σε συγκέντρωση 86 wt% όταν η θερμοκρασία που λειτουργεί η κυψέλη είναι 250 °C. Αυτού του είδους οι κυψέλες εφαρμόστηκαν στο διαστημικό πρόγραμμα Apollo.
- Κυψέλες Καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFC), όπου ο ηλεκτρολύτης είναι το φωσφορικό οξύ και η θερμοκρασία όπου η κυψέλη λειτουργεί είναι περίπου στους 170 °C. Τα PAFC χρησιμοποιούνται παγκοσμίως σε σταθμούς βάσης ισχύος του μεγέθους των 200 kW.
- Κυψέλες καυσίμου μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC), όπου ο ηλεκτρολύτης είναι το πολυμερές περφλουροσουλφιδικό οξύ. Στις κυψέλες αυτές χρησιμοποιείται ως τροφοδοσία το υδρογόνο το οποίο περιέχει μονοξείδιο του άνθρακα. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται κράματα Pt – Ru ως ηλεκτρολύτες (καταλύτες). Λειτουργούν στην θερμοκρασία των 70 °C. Τα PEMFC χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές στην αυτοκίνηση αλλά και στην ναυτιλία .

3.9.5.2. Μέθοδος Παραγωγής Υδρογόνου για τις Κυψέλες Καυσίμου

Το καύσιμο το οποίο χρησιμοποιείται για τις περισσότερες κυψέλες καυσίμου είναι το υδρογόνο το οποίο όμως δεν μπορεί να υπάρξει σε μεγάλες ποσότητες υπό μορφή στοιχείου. Επομένως για να διατεθεί στις κυψέλες καυσίμου θα πρέπει να παραχθεί απο άλλες πηγές όπως κινητές μορφές ενέργειας όπου θα παράγουν σε ποσότητες το υδρογόνο και θα το αποστέλλουν στους χρήστες για χρησιμοποίησή του. Το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί με διάφορους τρόπους. Αρχικά ο πρώτος τρόπος παραγωγής είναι απο χημικές μεθόδους οι οποίες σχετίζονται με την διαμόρφωση των υγρών καυσίμων στο τμήμα της χημικής

βιομηχανίας (π.χ. αμμωνία). Η κυριότερη διαδικασία η οποία είναι άκρως αποτελεσματική στην παραγωγή υδρογόνου είναι η αναμόρφωση βιομάζας η οποία συμμετέχει στην παραγωγή καυσίμων είναι η κατάλληλη μέθοδος για την παραγωγή υδρογόνου από την ηλεκτρόλυση του νερού. Τα τελευταία χρόνια η παραγωγή υδρογόνου πραγματοποιείται και με μεθόδους οι οποίες είναι βιολογικές. [18]

3.9.5.3. Το Πλήρως Ηλεκτρικό πλοίο και η ενσωμάτωση των Κυψελών Καυσίμου σε αυτό. (All Electric Ship)

Το πλήρες εξηλεκτρισμένο πλοίο χρησιμοποιεί πλέον προηγμένες τεχνολογίες για την ηλεκτρική του πρόωση αλλά και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Στο Π.Ε.Π το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ισχύος για πρόωση αλλά και το γενικό δίκτυο είναι όλα πλήρως εξηλεκτρισμένα. Η κύρια έννοια του AES είναι να διαχειρίζεται με ευέλικτο τρόπο και καλύτερα την ενέργεια με διάφορες τεχνικές, για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια με όσο το δυνατόν λιγότερη κατανάλωση καυσίμου από τους ντιζελοκινητήρες.

Σε αυτό το μήκος κύματος το σύστημα των κυψελών καυσίμου μπορεί να γίνει το κύριο κομμάτι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Βάση μιας ενδελεχούς έρευνας που σχετίζεται με τα πολεμικά πλοία, χρησιμοποιώντας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το σύστημα των κυψελών καυσίμου (3-6 MW) είχε ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση του καυσίμου κατά 40% κάθε χρόνο. Ο σκοπός μια μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (κυψέλες καυσίμου κ.α.) σε ένα πλοίο είναι να διοχετεύει μια επαρκής ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας για κάποιο χρονικό διάστημα, είτε για την πρόωση του είτε για τα υποσυστήματα του πλοίου (τα φορτία του), είτε βέβαια και για τα δύο. Οι πτυχές που καθορίζουν αν ένα σύστημα είναι κατάλληλο για ναυτιλιακή χρήση είναι οι εξής :

- Ηλεκτρική απόδοση,
- Ισχύς,
- Οι περιβαλλοντικές ωφέλειες που προκύπτουν από τη συγκεκριμένη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας,
- Οικονομικά ζητήματα (Αν είναι συμφέρουσα η επιλογή της συγκεκριμένης μονάδας παραγωγής ενέργειας)

3.9.5.4. Ηλεκτρική απόδοση

Η μεγαλύτερη ηλεκτρική απόδοση τώρα είναι μία σημαντική παράμετρος και κίνητρο για την ενσωμάτωση των κυψελών καυσίμου στο πλοίο καθώς οι κυψέλες καυσίμου υπερτερούν σε σχέση με τις συμβατικές γεννήτριες. Η αύξηση της ηλεκτρικής απόδοσης προκύπτει λόγω της γρήγορης μετατροπής της χημικής ενέργειας (υδρογόνο) σε ηλεκτρική ενέργεια σε αντίθεση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης που μετατρέπουν την χημική ενέργεια μέσω μηχανικής αλλά και θερμικής ενέργειας. Βέβαια και άλλες βελτιστοποιήσεις πάνω στο υδρογόνο που χρησιμοποιείται κυρίως στις κυψέλες καυσίμου μπορούν να συνεισφέρουν και στην εκμηδένιση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

3.9.5.5. Παραδείγματα Χρήσης Κυψελών Καυσίμου με Υδρογόνο σε πλοία

Αρχικά θα παρουσιαστεί το πρόγραμμα «NEMO H2»/PEM. Στο πρόγραμμα αυτό συνεργαστήκαν οι εταιρείες (Lovers, Linde gas, Marine Service North), με σκοπό την υλοποίηση ενός σκάφους με υδρογόνο (NEMO H2). Το συγκεκριμένο σκάφος υδρογόνου θα έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει περίπου 100 άτομα στο κεντρικό σημείο της πόλης του Άμστερνταμ.



Εικόνα 3.17: Πρόγραμμα «NEMO H2»

Η Κυψέλη Καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε στο εν λόγω πρόγραμμα ήταν του τύπου PEM 65 KW και με κάυσιμο υδρογόνο περίπου 40 kg σε 8 κυλίνδρους στα 350 bar.

Κατά την εγκατάσταση του συστήματος της Κυψέλης Καυσίμου, των συσσωρευτών αλλά και του συστήματος αποθήκευσης υδρογόνου εγκαταστάθηκαν με μεγάλη επιτυχία και η προσαρμογή τους πάνω στο πλοίο πραγματοποιήθηκε με ιδιαίτερη ευκολία.

Επιπρόσθετα οι ειδικοί μετά από αρκετές δοκιμές αξιολόγησαν πως το συγκεκριμένο σκάφος δεν διατρέχει κάποιον κίνδυνο και πως είναι πλήρως ασφαλές για την χρησιμοποίηση του από τους πολίτες. Το NEMO H2 πραγματοποίησε το πρώτο του ταξίδι το 2012 και συνεχίζει μέχρι και σήμερα χωρίς το σύστημα κυψελών καυσίμου αλλά και τα υποσυστήματα του να έχουν παρουσιάσει κάποια δυσλειτουργία.

3.9.5.6. Σύγχρονα projects (προγράμματα) με Κυψέλες Καυσίμου σε Πλοία.

Το ‘Water-Go-Round’, είναι ένα πλοίο το οποίο τροφοδοτείται αποκλειστικά από Κυψέλες Καυσίμου και είναι το πρώτο πλοίο τέτοιου είδους που παράγεται στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το ‘Water-Go-Round’, αναμένεται να βρεθεί στο Σαν φρανσίσκο το χειμώνα του 2019, και θα έχει τη δυνατότητα να πλέει για δύο μέρες συνεχόμενα χωρίς να ανεφοδιάζεται με (υδρογόνο) άρα το υδρογόνο που αποθηκεύει φτάνει μόνο για 2 μέρες πλεύσης. Το συγκεκριμένο καταμαράν αλουμινίου και 70 ποδιών, η μέγιστη του ταχύτητα θα φτάνει τους 22 κόμβους (27 μίλια /ώρα) και θα φιλοξενεί περίπου 100 επιβάτες.

Η εταιρεία που το κατασκεύασε είναι η Bay Ship και τοποθέτησε διπλούς ηλεκτρικούς κινητήρες της BAE Systems και ένα σύστημα Κυψελών Καυσίμου αλλά και κάποιων υποσυστημάτων από την FCHEA.

Μάλιστα το συγκεκριμένο καταμαράν θα έχει τη δυνατότητα να ανεφοδιάζεται το υδρογόνου χωρίς να έχει εγκατασταθεί κάποια συγκεκριμένη υποδομή στην αποβάθρα.

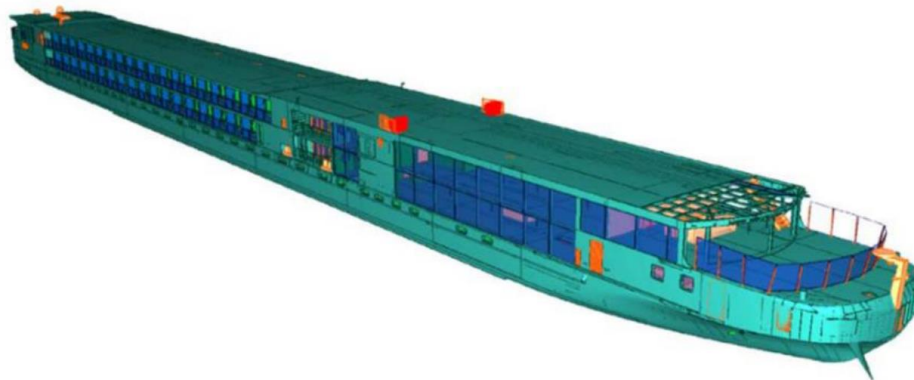
Πρόγραμμα «RIVERCELL»/ HT-PEM

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα έχει ως στόχο να υλοποιήσει ένα επιβατηγό πλοίο. Οι εταιρείες που συνεργάζονται για το εν λόγω πρόγραμμα είναι οι εξής (DNV GL, Serenergy, MEYER κ.α). Το συγκεκριμένο πρόγραμμα έχει ως σκοπό να βρεί την καλύτερη λύση για την πρόωση του πλοίου αλλά και για την τροφοδότηση των υποσυστημάτων του κατασκευάζοντας ένα υβριδικό σύστημα με τον βασικό του πυλώνα να είναι οι Κυψέλες Καυσίμου. Αρχικά θα χρησιμοποιήσει δύο συστήματα Κυψέλων Καυσίμου HT-PEM, τρεις γεννήτριες ντίζελ, αλλά και δύο συσσωρευτές οι οποίοι θα είναι ρυθμιζόμενοι. Το ένα μέρος του συστήματος θα τοποθετηθεί στο πίσω μέρος του πλοίου και το άλλο μέρος στο μπροστινό του μέρος και τα καύσιμα αποθηκεύονται στο μέσον του. Στο σύστημα πρόωσης τοποθετούνται τέσσερις έλικες και δύο προωθητήρες πλώρης. Αρχικά θα μπορούμε να τροφοδοτούμε τους ηλεκτροκινητήρες μέσω των Κυψέλων Καυσίμου αλλά και τα υπόλοιπα υποσυστήματα του πλοίου. Επίσης θα έχουμε την δυνατότητα όταν το καράβι «ξεμένει» από υδρογόνο να κινούνται οι γεννήτριες ντίζελ (ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη) και να κινούν εκείνες τώρα τους ηλεκτροκινητήρες. Επιπρόσθετα οι συσσωρευτές θα μπορούν να φορτίζονται από της ντιζελογεννήτριες και να κινούν πλέον οι ίδιες τους έλικες. Οι παραπάνω τρόποι πρόωσης αλλά και τροφοδότησης των υποσυστημάτων του πλοίου μειώνουν σε μεγάλο βαθμό το επίπεδο καυσαερίων αλλά συμβάλλουν και στην μείωση των εξόδων για τους πλοιοκτήτες καθώς μειώνονται σε μεγάλο βαθμό τα έξοδα για καύσιμα. [19]

Πρόγραμμα «PA-X-ELL/HT-PEM»

Το Pa-X-ell είναι ένα μέρος του προγράμματος ‘‘e4ships’’ του προγράμματος καινοτομίας για την εισαγωγή της τεχνολογίας του Υδρογόνου και των Κυψέλων Καυσίμου. Ο βασικός στόχος του προγράμματος είναι να μειωθούν οι εκπομπές αέριων ρύπων σε όλα τα είδη πλοίου, διαμέσου της χρησιμοποίησης ανεξάρτητου δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία με βάση τις κυψέλες καυσίμου. Ένας άλλος στόχος του προγράμματος είναι η επικύρωση της ασφάλειας της συγκεκριμένης μεθόδου σε όλων των ειδών των πλοίων (επιβατηγά, κρουαζιερόπλοια) αλλά και η επιβεβαίωση της οικονομίας στην ηλεκτρική ενέργεια. Για την επιτυχή εφαρμογή του ανεξάρτητου και ασφαλούς συστήματος χρησιμοποιήθηκαν κυψέλες καυσίμου HT-PEM.

Οι εταιρείες που χρηματοδότησαν το συγκεκριμένο project ήταν οι εξής: MEYER WERFT, Fr. Lursen WERFT. Η αυτόνομη μονάδα καυσίμου HT-PEM δημιουργήθηκε από την εταιρεία Ser energy και μπορεί να παρέχει ισχύ έως και 5Kw. Το υδρογόνο που χρειαζόμαστε δημιουργείτε εσωτερικά με χρήση της μεθανόλης. Μέσω της μεθανόλης είναι εύκολο να παραχτεί σε H₂ διότι είναι σε υγρή μορφή αλλά επίσης είναι εύκολο να την βρούμε στην αγορά σε χαμηλές τιμές. Είναι πολύ πιθανό σε επόμενο στάδιο του προγράμματος να χρησιμοποιηθεί κάποιο άλλο προϊόν για να παραχτεί το υδρογόνο διότι η μεθανόλη είναι τοξική. Για παράδειγμα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και χρήση του φυσικού αερίου (NG).



Εικόνα 3.18 : Πλοίο Προγράμματος «RIVERCELL»

Εφαρμογή του προγράμματος σε πλοίο

Μία αυτόνομη μονάδα ACU έχει τοποθετηθεί και χρησιμοποιηθεί ήδη σε ένα γερμανικό πλοίο “Sonne”. Η αυτόνομη μονάδα HT-PEM παρέχει 5 Kw αλλά οι μηχανικοί του προγράμματος προσπαθούν να την αυξήσουν στα 20 Kw. Επιπρόσθετα στο πλοίο MS MARIELLA τοποθετήθηκαν δύο στοίβες των 30 KW για να τροφοδοτεί το πλοίο με ηλεκτρική ενέργεια.

Αποτελέσματα Προγράμματος

Το project έδειξε πως η χρήση των κυψελών καυσίμου HT-PEM μπορεί να πραγματοποιηθεί με πλήρη επιτυχία. Η τροφοδότηση των ηλεκτρικών φορτίων μπορεί να πραγματοποιηθεί με λιγότερες εκπομπές αλλά και θορύβους. Επιπρόσθετα εξασφαλίστηκε η ασφάλεια του συστήματος των κυψελών Καυσίμου. Επίσης όλες οι εταιρείες που χρηματοδοτούσαν το πρόγραμμα θα συνεχίσουν και με νέα προγράμματα για την συνεχή ανάπτυξη των συστημάτων κυψελών καυσίμου με στόχο τα 20 Kw ανά στοίβα. [19]

Η τεχνολογία Κυψελών Καυσίμου δοκιμάστηκε με επιτυχία σε δύο πλοία

Ένα γερμανικό πρόγραμμα στο οποίο συμμετείχαν αρκετές ερευνητικές ομάδες με σκοπό την ανάπτυξη Κυψελών Καυσίμου για την πρόωση του πλοίου αλλά και των υποσυστημάτων του παρουσίασε την επιτυχή εγκατάσταση της συγκεκριμένης καινούργιας τεχνολογίας σε δύο πλοία.

Τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν (από το project “e4ships”) από τους επικεφαλές της εταιρείας Meyer Werft. Μάλιστα ο υφυπουργός ψηφιακών υποδομών της γερμανίας ανέφερε πως το συγκεκριμένο πρόγραμμα με τη χρήση των Κυψελών Καυσίμου είναι η λύση για την μείωση των εκπομπών των πλοίων καθώς οι κυψέλες καυσίμου είναι ιδιαίτερα φιλικές προς το περιβάλλον. Οι έρευνες που πραγματοποιήθηκαν είχαν ως σκοπό να ερευνηθούν αν οι κυψέλες καυσίμου είναι κατάλληλες για να εισχωρήσουν στο τομέα της ναυτιλίας. Μάλιστα το συγκεκριμένο πρόγραμμα εγκατέστησε ένα σύστημα κυψελών καυσίμου ισχύος 90 Kw σε συνδυασμό με το συμβατικό σύστημα παροχής ενέργειας στο πλοίο της εταιρείας Viking Line ώστε να διαπιστώσουν αν είναι συμφέρουσα λύση η χρήση των κυψελών καυσίμου.

Αποδείχτηκε πως με την χρησιμοποίηση των κυψελών καυσίμου, οι εκπομπές των ρύπων μειώθηκαν σε ένα πολύ μεγάλο ποσοστό και συγκεκριμένα στο αμβούργο που έγινε η χρήση

των κυψελών σε αυτά τα δύο πλοία διαπιστώθηκε την βελτίωση της ποιότητας του αέρα κάτι που άρεσε αρκετά στους πολίτες αλλά και στην ίδια την πολιτεία η οποία θέλει να χρησιμοποιήσει νέες τέτοιες τεχνολογίες οι οποίες είναι φιλικότερες προς το περιβάλλον.

Ο IMO το τελευταίο καιρο δέχεται αυξημένες πιέσεις, ώστε να μειώθουν οι ρύποι στο κλάδο της ναυτιλίας και πρόσφατα η αναπληρώτρια διευθύντρια του IMO ανέφερε πώς τα εναλλακτικά καύσιμα (κυψέλες καυσίμου) έχουν την δυνατότητα να κυριαρχήσουν στην «πράσινη» ναυτιλία που θα έχει ως στόχο την μείωση των εκπομπών προς το περιβάλλον. [20]

3.9.5.7. Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Κυψελών Καυσίμου

Τα κύρια πλεονεκτήματα των Κυψελών Καυσίμου (Fuel Cell) είναι τα παρακάτω:

- Έχουν την δυνατότητα να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια παρόμοια με τις μηχανές καύσεως με απειροελάχιστη μόλυνση προς το περιβάλλον, καθώς οι εκπομπές των ρύπων που εκρέουν προς το περιβάλλον είναι μηδαμινές.
- Το παραγόμενο υποπροϊόν του νερού υπάρχει η δυνατότητα να γίνει χρήση του και για άλλες ανάγκες μέσα στο πλοίο, όπως το πόσιμο νερό για το πλήρωμα.
- Η δυνατότητα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της ηλεκτροχημικής διαδικασίας μεγιστοποιούν τις αποδόσεις των συστημάτων σε σχέση με την απόδοση των μηχανών καύσεως.
- Η παραγωγή του υδρογόνου, ως καύσιμο μπορεί να πραγματοποιηθεί σε κάθε χώρα, επομένως όλες οι χώρες θα μπορούν να προβούν στην εφαρμογή των Κυψελών Καυσίμου με Υδρογόνο.
- Τα συστήματα των Κυψελών Καυσίμου δεν απαρτίζονται από κάποιο κινούμενο μέρος, οπότε δεν συναντάμε απώλειες ενέργειας από τυχόν τριβές αλλά και η λειτουργία τους είναι ιδιαίτερα σιωπηλή και η συντήρησή τους είναι χαμηλού κόστους.
- Οι Κυψέλες Καυσίμου έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζονται της ισχύς τους αναλόγως με την εφαρμογή που χρησιμοποιούνται. Μπορούν να δημιουργηθούν Κυψέλες Καυσίμου από λίγα Watt έως αρκετά MW.

Υπάρχουν όμως και τα παρακάτω μειονεκτήματα των Κυψελών Καυσίμου (Fuel cells):

- Το αέριο υδρογόνου έχει πολύ χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, με αποτέλεσμα να χρειαζόμαστε μεγάλες δεξαμενές αποθήκευσης του, αλλά και κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής του, οι δεξαμενές πρέπει να είναι υψηλής πίεσεως πράγμα που δυσκολεύει ακόμα περισσότερο την διαδικασία.
- Οι τωρινές υποδομές ανεφοδιασμού καυσίμων στους λιμένες είναι αποκλειστικά κατασκευασμένες για διανομή συμβατικών καυσίμων, επομένως δεν υπάρχουν ακόμα οι κατάλληλες υποδομές για την διανομή του υδρογόνου.
- Η παραγωγή σε μεγάλες ποσότητες των καυσίμων υδρογόνου είναι ακόμα δυσχερής και πολύ κοστοβόρα. Επίσης μερικές από τις τεχνικές για την παραγωγή καυσίμου υδρογόνου εκκρέουν οξείδια του άνθρακα που συμβάλλουν στη μόλυνση του περιβάλλοντος.

- Λόγω των προβλημάτων αποθήκευσης του καυσίμου υδρογόνου το σύστημα δεν επιτυγχάνει μακροχρόνια διάρκεια λειτουργίας των συστημάτων, καθώς χρειάζεται αρκετά συχνά ανεφοδιασμό καυσίμου υδρογόνου σε σύγκριση με τους κινητήρες ντήζελ.
- Τα συστήματα Κυψελών Καυσίμου έχουν λιγότερη διάρκεια ζωής από τις μηχανές ντήζελ, με αποτέλεσμα να αυξάνονται τα λειτουργικά κόστη για να αντικατασταθούν ξανά τα συστήματα αυτά. [19]

3.10. Ηλεκτρικοί Κινητήρες Πρόωσης

Οι περισσότεροι κινητήρες είναι σύγχρονοι και ο βαθμός απόδοσης τους είναι περίπου στο 97%, υψηλότερο κατά 5% από τον αντίστοιχο βαθμό απόδοσης των κινητήρων επαγωγής. Η τάση λειτουργίας τους σε εγκαταστάσεις μέσης αλλά και μεγάλης τάσης ισχύος είναι από 3,3 έως 6.6 kV. Στους σύγχρονους κινητήρες τώρα εντάσσονται και οι κινητήρες με μόνιμους μαγνήτες των οποίων η απόδοση τους πλησιάζει σύμφωνα με τους κατασκευαστές το 99%. Στις σύγχρονες αυτές μηχανές, στη θέση του τυλίγματος διεγέρσεως του δρομέα τοποθετούνται οι μόνιμοι μαγνήτες. Το αποτέλεσμα είναι το ίδιο καθώς και στις δύο εφαρμογές παράγεται το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο το οποίο έχει τη τάση να στρέφεται σε όλο το χώρο έχοντας αποκτήσει την ταχύτητα του δρομέα. Τα πλεονεκτήματα των μηχανών αυτών είναι αρχικά πως δεν χρειάζονται παροχή συνεχούς ρεύματος επομένως μεγιστοποιείται και η απόδοση τους καθώς ελαχιστοποιούνται και οι απώλειες Joule από τα τυλίγματα.

Οι μόνιμοι μαγνήτες είναι μια παλιά μέθοδος αλλά ξαναεμφανίζεται στις μέρες μας διότι η ανάπτυξη της τεχνολογίας δημιούργησε τα κράματα μόνιμων μαγνητών όπως (κράματα σαμαρίου-κοβαλτίου κ.α.) όπου έχουν την ικανότητα να σταθεροποιούν την μαγνήτισή τους για μεγάλες θερμοκρασίες, διότι μέσα σε μία στρεφόμενη μηχανή η θερμοκρασία έχει την τάση να αυξάνεται. Οι κινητήρες με μόνιμους μαγνήτες με μια ορθή επιλογή στάτη και πόλων δρομέα έχουν την δυνατότητα να δίνουν το ημιτονοειδές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Με το ημιτονοειδές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που βγάζουν στην έξοδο μπορούν να συναγωνιστούν πλέον τις συμβατικές μηχανές στα πολύ χαμηλά επίπεδα αιχμών ροπής (torque ripples) αλλά και των μηχανικών δονήσεων. Τα τελευταία χρόνια ερευνάται η χρησιμοποίηση των ηλεκτροκινητήρων με υπεραγώγιμα υλικά για κινητήρες πρόωσης.

Τα υπεραγώγιμα υλικά έχουν μηδενική ηλεκτρική αντίσταση σε χαμηλές θερμοκρασίες και το πλεονέκτημα τους έναντι των συμβατικών μηχανών είναι πως παράγουν μεγάλη ισχύ ανά μονάδα όγκου. Η συγκεκριμένη μέθοδος με τους ηλεκτρικούς κινητήρες με τα υπεραγώγιμα υλικά χρησιμοποιούνται σε πολεμικά πλοία που ο χώρος τους είναι αρκετά μικρός. Μάλιστα η εταιρεία American Superconductor είναι έτοιμη να κατασκευάσει έναν κινητήρα πρόωσης με ονομαστική ισχύ 25 MW.

3.10.1. Κινητήρες αξονικής ροής.

Στους κινητήρες αυτούς η ωφέλιμη μαγνητική ροή βρίσκεται στην ακτινική διεύθυνση, όπως και στις συμβατικές ηλεκτρομηχανές όπως και στο ηλεκτρικό κινητήρα PERMASYN της SIEMENS, ο οποίος χρησιμοποιεί μόνιμους μαγνήτες και έχει εφαρμοστεί σε υποβρύχια για την πρόωση τους. Οι κινητήρες αξονικής ροής πλεονεκτούν σε σχέση με έναν συμβατικό επαγωγικό κινητήρα διότι έχουν μεγάλη πυκνότητα ισχύος και ροπής. Η κύρια διαφορά με

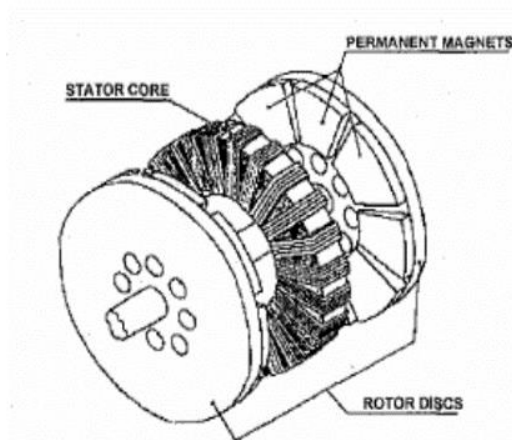
ένα τριφασικό επαγωγικό κινητήρα είναι πως έχει τη δυνατότητα λειτουργίας με 10 η και 15 φάσεις κάνοντας χρήση των αρμονικών του μαγνητικού πεδίου με την μεγάλη βοήθεια των ηλεκτρονικών ισχύος με σκοπό να αυξηθεί η ισχύς του κινητήρα.

3.10.2. Πολυβάθμιοι κινητήρες εγκάρσιας ροής (transverse flux motors)

Στους κινητήρες αυτούς έχουν εγκατασταθεί μόνιμοι μαγνήτες στον δρομέα, κατευθυνόμενους ώστε η μαγνητική ροή να εισέρχεται στο διάκενο σε αξονική διεύθυνση και κυριότερα εγκάρσια προς την κατεύθυνση του άξονα της μηχανής.

3.10.3. Πολυβάθμιοι κινητήρες αξονικής ροής (axial flux motors)

Στους κινητήρες αυτούς έχουν εγκατασταθεί μόνιμοι μαγνήτες στον δρομέα, κατευθυνόμενους ώστε η μαγνητική ροή να εισέρχεται σε παράλληλη διεύθυνση προς τον άξονα της μηχανής. Η ακόλουθη εικόνα αναπαριστά τους πολυβάθμιους κινητήρες αξονικής ροής.



Εικόνα 3.19: Κινητήρας Αξονικής ροής

3.11. Μετατροπείς ηλεκτρονικών ισχύος για ηλεκτρική πρόωση

3.11.1. Μετατροπείς Συχνότητας.

Στις εγκαταστάσεις Ε.Ρ., όπου η συχνότητα του ρεύματος που παράγεται είναι σταθερή, ο μοναδικός τρόπος ώστε να ρυθμίσει η ταχύτητα περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα πρόωσης είναι πλέον αυτός να μην τροφοδοτείται από το δίκτυο αλλά από ένα κύκλωμα μετατροπής της συχνότητας. Η κύρια διάταξη «μετατροπής» που χρησιμοποιείται είναι η γέφυρα 6-παλμών με ανορθωτή αλλά και έναν αντιστροφέα. Σε τωρινές ναυπηγήσεις γίνονται χρήση έως και γέφυρες 24 παλμών. Στην συνέχεια θα γίνει μία σύντομη περιγραφή μετατροπέων των ηλεκτρονικών ισχύος.

3.11.2. Ζεύγη ανορθωτών-αντιστροφέων SPWM

Στα κυκλώματα αυτά αρχικά γίνεται ανορθωση από ΕΡ σε ΣΡ και μετέπειτα από ΣΡ σε ΕΡ. Αρχικά έχουμε τις πηγές ρεύματος (CSI Current Source Inverters) με SPWM: Στο ΣΡ τοποθετείται ένα πηνίο που ουσιαστικά διατηρεί το ρεύμα τροφοδοσίας σταθερό με συνέπεια ο μετατροπέας να εργάζεται ως πηγή ρεύματος. Μετέπειτα έχουμε τις πηγές τάσεως (VSI Voltage Source Inverters) με SPWM: όπου στο DC-link του ΣΡ τοποθετείται ένας πυκνωτής που διατηρεί την τάση τροφοδοσίας σταθερή, με συνέπεια ο μετατροπέας να λειτουργεί ως πηγή (σταθερής) τάσης.

Επιπρόσθετα έχουμε τους συγχρομετατροπείς (synchro-converters) όπου είναι μετατροπείς πηγής ρεύματος όπου οι διακόπτες ισχύος απενεργοποιούνται μόνο με την βοήθεια από τα φορτία τους και αυτό είναι το κύριο πλεονέκτημα τους καθώς δεν χρειάζονται επιπλέον βοηθητικά κυκλώματα σβέσεως. Εφαρμόζονται σε προωστήρια συστήματα με σύγχρονους κινητήρες για μεγάλη κυρίως ισχύ.

3.12. Τεχνικές Ελέγχου Κινητήρων Πρόωσης Εναλασσόμενου Ρεύματος

Οι μέθοδοι ελέγχου κινητήρων E.P. εστιάζοντας κυρίως στις εφαρμογές σε κινητήρες ηλεκτροπρόωσης, είναι οι παρακάτω:

3.12.1. Βαθμωτός έλεγχος ανοιχτού ή κλειστού βρόγχου V/F (scalar control):

Δεν εφαρμόζεται στην πρόωση, αλλά είναι αναγκαία η αναφορά σε αυτόν. Στην περίπτωση αυτή γνωρίζουμε την επιθυμητή ταχύτητα δίχως να ξέρουμε την τιμή της πραγματικής ταχύτητας. Η μεταβολή της τάσης είναι ανάλογη της επιθυμητής τιμής της ταχύτητας, ώστε να αποφευχθεί η μεταβολή της ροπής. Σε μια αναδιαμόρφωση της τεχνικής αυτής λαμβάνεται η τιμή της πραγματικής ταχύτητας και συγκρίνεται με αυτή της επιθυμητής ταχύτητας και το σήμα του σφάλματος που προκύπτει εισέρχεται σε έναν PI ελεγκτή και ανάλογως την τιμή του σφάλματος παράγεται ένα σήμα εναύσεως των διακοπτικών στοιχείων.

3.12.2. Έλεγχος με SPWM και CSI (με συγκριτές υστερήσεως)

Υπάρχει ένας ελεγκτής ώστε να ελέγχει την τιμή του ρεύματος εισόδου, ώστε να μην ξεπερνά κάποιες συγκεκριμένες τιμές που του έχουμε ορίσει (συγκεκριμένο κατώφλι τιμών). Όταν ο ελεγκτής SPWM εντοπίσει το ρεύμα εισόδου να έχει υπερβεί σε κάποια χρονική στιγμή το όριο αυτό των τιμών ρεύματος στέλνει σήμα στους διακόπτες να άγουν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να διακόψουν την μεταβολή του ρεύματος πάνω από τις τιμές κατωφλίου που έχουν οριστεί.

3.12.3. Διανυσματικός έλεγχος (vector control)

Πραγματοποιείται με τον ίδιο τρόπο όπως και στις μηχανές Σ.Ρ., ξένης διεγέρσεως όπου υπάρχει η ροπή M η οποία ισούται με το γινόμενο του ρεύματος τυλίγματος διεγέρσεως επί το ρεύμα του τυλίγματος τυμπάνου:

$$M=k.I_f.I_a$$

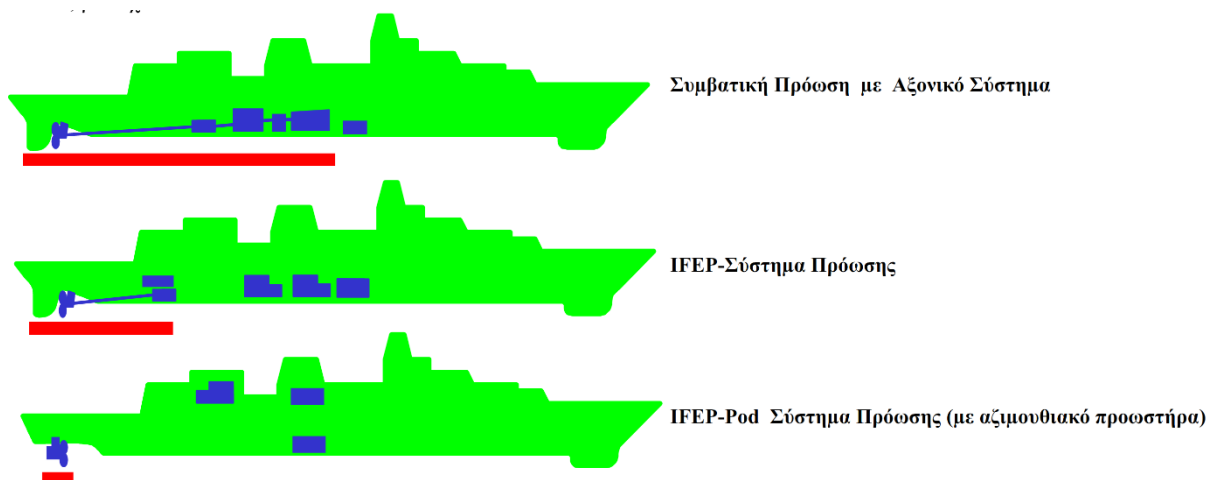
3.12.4. Απευθείας έλεγχος ροπής (Direct Torque Control DTC)

Η συγκεκριμένη μέθοδος ελέγχου έχει αρχίζει και χρησιμοποιείται σε πλοία ηλεκτροπροωθούμενα και κυρίως σε εκείνα τα πλοία που χρησιμοποιούν αζιμουθιακό προωστήριο σύστημα σε συνδυασμό με σύγχρονο κινητήρα με μόνιμους μαγνήτες (Azipod της ABB). Κυριαρχεί έναντι του διανυσματικού ελέγχου διότι επιτυγχάνει τους παρακάτω ελέγχους:

- Ελέγχει γρήγορα τη ροπή εξόδου του κινητήρα
- Η ροπή που παράγεται δεν παρουσιάζει μεγάλες αιχμές

- Δεν χρειάζονται αρκετές μετρήσεις σε πολλά μεγέθη ώστε να επιτευχθεί ο κατάλληλος έλεγχος στη μηχανή(π.χ. δεν είναι ανάγκη να μετρηθεί η ταχύτητα περιστροφής).

3.13. Είδη αξονικών συστημάτων πλοίων



Εικόνα 3.20: Διάφορα συστήματα πρόωσης.

Τα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης πλεονεκτούν λόγω της συνεχούς εναλλαγής των στροφών σε όλο το εύρος από μηδενική έως και την ονομαστική ταχύτητα και επιπροσθέτως το μέγιστο της ροπής μπορεί να γίνει η χρήση της σε όλο το εύρος λειτουργίας. Για μεγαλύτερη ασφάλεια οι μηχανικοί κατά την εγκατάσταση τοποθετούν δύο ηλεκτροκινητήρες που θα κινούν την έλικα. Η έλικα τώρα ως φορτίο ακολουθεί το «νόμο της έλικας», δηλαδή η ροπή είναι ανάλογη του τετραγώνου της μηχανικής ταχύτητας της. Χρησιμοποιούμε είτε σταθερή έλικα σταθερού βήματος είτε μεταβαλλόμενη με αλλαγή στην κλίση των πτερυγίων της

3.13.1. Έλικα σταθερού βήματος (Fixed Pitch Propeller):

Η έλικα κατασκευάζεται ώστε να προσλαμβάνει την μέγιστη ισχύ. Για να είναι λειτουργική η έλικα με πλήρη ισχύ σε κακές καιρικές συνθήκες το σύστημα πρόωσης σχεδιάζεται ώστε η τιμή της ισχύος του να είναι 15% μεγαλύτερη της ονομαστικής αλλά και χωρίς να αυξάνεται παραπάνω από τη μέγιστη ισχύ (MCR).

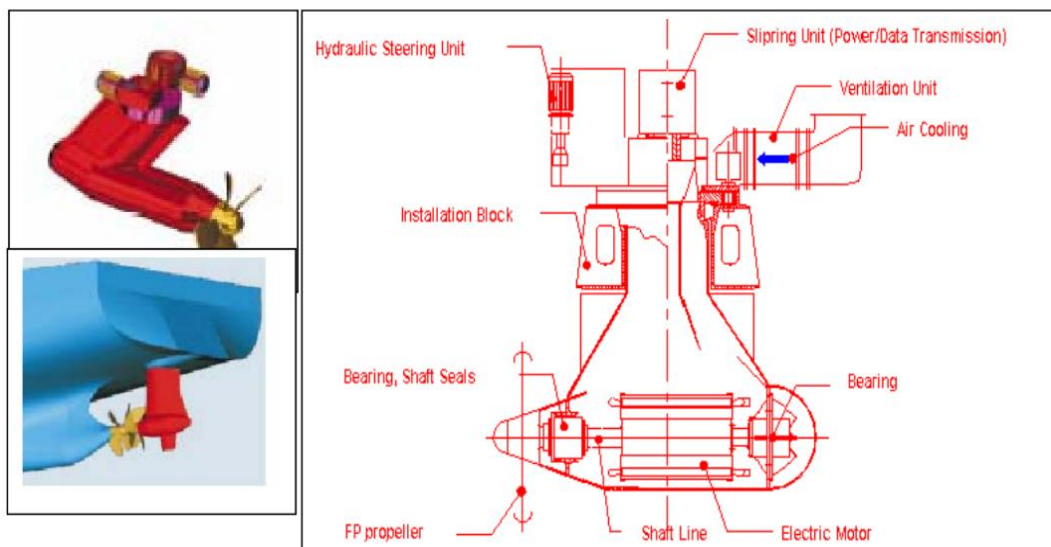
3.13.2. Έλικα ρυθμιζόμενου βήματος (Controllable Pitch Propellers – CPP)

Το σύστημα έχει αυτόματη επιλογή για το συνδυασμό βήματος- στροφών έλικας στο εύρος 70-100% των στροφών, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη λειτουργία. Όταν χρησιμοποιείται έλικα ρυθμιζόμενου βήματος η μέγιστη ισχύς απορρίπτεται με την κατάλληλη ρύθμιση του βήματος.

3.13.3. Αξιμουθιακό Προωστήριο Σύστημα (Podded Propulsion – POD)

Με την εφαρμογή της ηλεκτρικής πρόωσης στα πλοία εμφανίστηκε και μία σπουδαία λύση για το προωστήριο σύστημα. Το ενιαίο σύστημα του ηλεκτροκινητήρα και της έλικας είναι εμβαπτισμένο στο νερό και εγκαθίστανται στο πρυμναίο μέρος του πλοίου. Το σύστημα αυτό έχει ηλεκτροκινητήρα πρόωσης που μπορεί να κατέχει μία ή και περισσότερες έλικες και έχει δυνατότητα περιστροφής 360° κατά την αξιμουθιακή κατεύθυνση δηλαδή στον

οριζόντιο άξονα. Με αυτόν τον τρόπο δίνει τη δυνατότητα στο πλοίο για μεγαλύτερους ελιγμούς και ελαχιστοποιεί το αξονικό σύστημα. [26].



Εικόνα 3.21: Αξιμουθιακό προωστήριο σύστημα.

3.14. Σύστημα Παραγωγής – Μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο οργανισμός SOLAS, έχει θεσπίσει κάποιους κανονισμούς όσο αφορά τις πηγές ηλεκτρικής ενέργειας για τα πλοία. Ένας από τους πολλούς κανονισμούς αναφέρει πως σε κάθε πλοίο θα πρέπει να εγκαθίστανται μια κύρια πηγή ηλεκτρικής ισχύος. Η πηγή αυτή σύμφωνα με το κανονισμό θα πρέπει να απαρτίζεται από δύο ή και περισσότερες ανεξάρτητες μεταξύ τους ηλεκτρογεννήτριες (ηλεκτροπαραγωγα ζεύγη). Κατά βάση θα δουλεύουν και οι δύο ηλεκτρογεννήτριες μαζί για να τροφοδοτούν επαρκώς τα φορτία, όμως σε περίπτωση βλάβης της μίας από τις δύο ηλεκτρογεννήτριες η μία που έχει απομείνει θα πρέπει να είναι σε θέση να εξηπύρεται από μόνη της επαρκώς όλα τα φορτία τα οποία χρειαζόμαστε κατά την πλεύση του πλοίου ώστε να εξασφαλιστούν:

- Η προστασία του εκάστοτε φορτίου
- Οι κατάλληλες συνθήκες για την πρόωση αλλά και την ακεραιότητα και ασφάλεια του πλοίου

Αλλά θα πρέπει να εξασφαλισθούν ενεργειακά και οι βασικές ανάγκες μέσα στο πλοίο όπως είναι: ο φωτισμός, το μαγείρεμα, η θέρμανση, η ψύξη κ.α. Στις μέρες μας οι μηχανικοί εγκαθιστούν τρεις η παραπάνω ηλεκτρογεννήτριες οι οποίες έχουν την ίδια ονομαστική ισχύ για λόγους ασφάλειας κυρίως. Οι γεννήτριες αυτές έχουν την δυνατότητα να δουλεύουν είτε χωριστά είτε παράλληλα ανα ζεύγη ανάλογα την συνολική ζητούμενη ηλεκτρική ενέργεια που απαιτούν τα εκάστοτε φορτία του εκάστοτε πλοίου. Είναι σημαντικό οι ώρες λειτουργίας των τριών ηλεκτρογεννητριών να είναι ίδιες ώστε να δέχονται την ίδια φθορά. Με βάση τον διεθνή οργανισμό SOLAS όλα τα επιβατηγά πλοία θα πρέπει να μεριμνούν ώστε να υπάρχει μία έκτακτη πηγή ηλεκτρικής ισχύος η οποία θα πρέπει να είναι ανεξάρτητη από τη κύρια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (ισχύος). Η ικανότητα της θα πρέπει να είναι επαρκής ώστε να

τροφοδοτήσει όλα τα φορτία που χρειάζομαστε για την ασφάλεια αλλά και τις ομαλές διεργασίες που συμβαίνουν μέσα στο πλοίο σε περίπτωση που η κύρια πηγή ηλεκτρικής ισχύς αντιμετωπίσει κάποιο πρόβλημα.

Επιπρόσθετα με βάση τη διεθνή σύμβαση SOLAS οποιοδήποτε πλοίο χωριτικότητας μεγαλύτερης από 500 GRT θα πρέπει να έχει μεριμνήσει ώστε να διαθέτει παραπάνω από μία λήψη ρεύματος από τη στεριά. Το σύστημα για τη λήψη ρεύματος από τη στεριά θα βρίσκεται στο κατάστρωμα και θα είναι συνδεδεμένη με το κύριο πίνακα διανομής, αλλά θα πρέπει να έχει εξασφαλιστεί και η ασφάλεια του συγκεκριμένου συστήματος. Η λήψη ρεύματος από τη στεριά θα ενεργοποιείται αν και μόνο αν αρχικά οι κύριες ηλεκτρογεννήτριες είναι εκτός σύνδεσης. Παράλληλη λειτουργία λείψης ρεύματος από τη στεριά μαζί με τις ηλεκτρογεννήτριες για κάποιο μικρό χρονικό διάστημα είναι επιτρεπτή. [21]

3.14.1. Σύστημα Παραγωγής (Πηγές) Ηλεκτρικής Ενέργειας Πλοίων

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι ιδιαίτερα σημαντική για την λειτουργικότητα ενός πλοίου αλλά και για την εξασφάλιση της ασφάλειας του πληρώματος.

Η εγκατάσταση του πλοίου διαμοιράζεται από ένα σύστημα παραγωγής, διανομής και χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας από τα εκάστοτε φορτία του πλοίου.

Τα υποσυστήματα της εγκατάστασης ενός πλοίου είναι τα εξής:

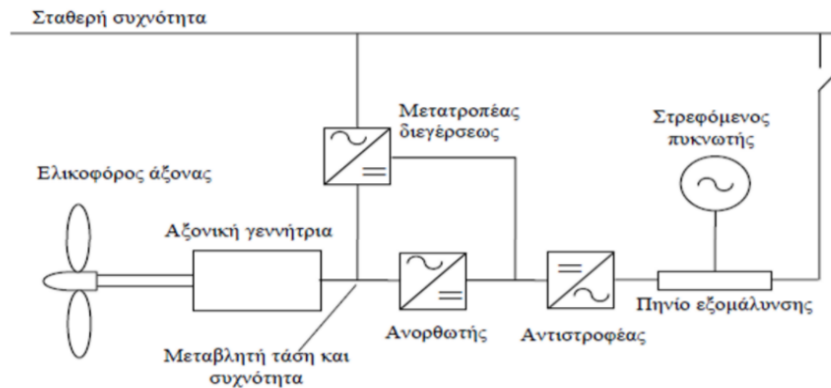
- 1) Ισχύ
- 2) Φωτισμός
- 3) Επικοινωνιών-ναυσιπλοΐας

Η ολοένα και μεγαλύτερη ζήτηση για χρήση της ηλεκτροπρόωσης αναγκάζει τα πλοία να δαπανούν μεγαλύτερες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας από την πλευρά της παραγωγής, της διανομής αλλά και της ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας (ισχύος). Το κύριο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια συναποτελείται από τις συσκευές και τον εξοπλισμό παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και από το εκάστοτε φορτία του πλοίου. Οι πηγές ηλεκτρικής ενέργειας είναι κυρίως οι εξής: αρχικά υπάρχουν τρεις ηλεκτρογεννήτριες (diesel generators) και τις περισσότερες φορές η μία είναι σε λειτουργία. Επιπρόσθετα σαν πηγές ηλεκτρικής ενέργειας για τα φορτία μας χρησιμοποιούνται αξονικές γεννήτριες (shaft generators) οι οποίες είναι ηλεκτρομηχανές που ενεργοποιούνται και αρχίζουν να κινούνται από την έλικα του πλοίου, επίσης χρησιμοποιούνται και στροβιλογεννήτριες (turbo generators) αλλά και φωτοβολταϊκά που είναι εγκατεστημένα πάνω στο πλοίο αλλά και κυψέλες καυσίμου.

3.14.1.1. Αξονική Γεννήτρια Πλοίου (Shaft Generator)

Χρησιμοποιείται κυρίως σε πλοία με συμβατική πρόωση αλλά και σε ηλεκτροπροωθούμενα πλοία και είναι μια πολύ διαδεδομένη τεχνική για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η αξονική γεννήτρια είναι μια ηλεκτρική μηχανή η οποία συνδέεται με τον έλικα (ελικοφόρο άξονα) του πλοίου ο οποίος άξονας κινεί αυτήν την ηλεκτρική μηχανή και συνήθως χρησιμοποιείται ως βοηθητική επιπρόσθετη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας όταν το πλοίο κινείται και έχει μεγάλες απαιτήσεις για ισχύ. Ένα μεγάλο πρόβλημα όταν

χρησιμοποιούνται οι αξονικές γεννήτριες είναι η δυσκολία στο να σταθεροποιείται η τάση αλλά και η συχνότητα όταν οι στρόφοι της μηχανής μεγαλώνουν καθώς μεταβάλλεται και ο ελικοφόρος άξονας ο οποίος συνδέεται με την αξονική γεννήτρια. Για να επιτευχθεί σταθερή τάση και συχνότητα συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται οι στατικοί μετατροπείς (static converters). Η αξονική γεννήτρια παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα και μετά την ανόρθωση το ρεύμα δίνεται στο ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου με σταθερή τάση και συχνότητα μέσω ενός μετατροπέα. [21].



Εικόνα 3.22: Η ολοκληρωμένη διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της αξονικής γεννήτριας.

3.14.1.2. Στροβιλογεννήτριες (turbo generators)

Αρχικά ο ατμοστρόβιλος είναι ο πιο διαδεδομένος κινητήρας για την ενεργοποίηση μιας ηλεκτρογεννήτριας. Τα προτερήματα του ατμοστρόβιλου είναι η σταθερή κινητήρια ροπή του αλλά και ο εύκολος έλεγχος των στροφών του. Επίσης ο ατμοστρόβιλος έχει το προτέρημα πως έχει μικρότερο βάρος και όγκο από τις ΜΕΚ, αλλά και λειτουργεί χωρίς ταλαντώσεις και μεγάλο θόρυβο αλλά και απαιτείται μικρότερη συντήρηση για τον κινητήρα αυτόν. Τα μειονεκτήματα του είναι πως απαιτείται ιδιαίτερα μεγάλο χρονικό διάστημα για να ενεργοποιηθεί και επίσης σαν κινητήρας δαπανεί υψηλές καταναλώσεις σε σχέση με των μηχανών εσωτερικής καύσεως. Η ενεργοποίηση του ατμοστρόβιλου κρέμεται από τον αποστακτήρα της κύριας μηχανής. Για να λειτουργήσει το σύστημα της κύριας μηχανής δίχως την ενεργοποίηση του λέβητα χρειάζονται άλλες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας είτε από ηλεκτροπαραγωγα ζύγη είτε τροφοδοσία από την ξηρά ώστε να λειτουργήσουν οι στροβιλογεννήτριες (παίρνουν κίνηση από τη κύρια μηχανή). Η κάθε στροβιλογεννήτρια απαρτίζεται από τα εξής κύρια μέρη, τον μειωτήρα, τον στρόβιλο, την ηλεκτρική γεννήτρια και από βοηθητικές διατάξεις, ώστε να διαμορφωθεί ένα σύστημα το οποίο θα αποτελεί βασικό μέρος της ηλεκτρικής εγκατάστασης ενός πλοίου. Η συσχέτιση μεταξύ στρόβιλου και γεννήτριας γίνεται μέσω ενός μειωτήρα ώστε να επιτυγχάνονται ταχύτητες 1.200 ΣΑΛ, οι οποίες συμβαδίζουν με τις ταχύτητες των σύγχρονων γεννητριών. Οι ατμοστρόβιλοι απαρτίζονται από τις εξής ασφαλιστικές διατάξεις:

- Ρυθμιστές στροφών
- Διακόπτη υπερταχύνσεως

- Διακόπτη αντιθλίψεως, ο οποίος σταματά τη μηχανή όταν αντληφθεί μεγάλη αντίθλιψη στην εξαγωγή, λόγω κάποιας βλάβης στην αντλία κυκλοφορίας που μπορεί να έχει προέλθει από κάποια αιτία.
- Χειροκίνητο διακόπτη με τον οποίο μπορούμε άμεσα να σταματήσουμε το στρόβιλο με το πάτημα ενός κουμπιού.

Οι στρόβιλοι των πλοίων φτάνουν στη μέγιστη τους απόδοση όταν η γεννήτρια δίνει το 80% της ονομαστικής ισχύος. Η στροβιλογεννήτρια έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί με υπερφόρτιση για δύο ώρες δίνοντας ισχύ 30% περισσότερη από την ονομαστική και διάρκειας πέντε λεπτών παρέχοντας ρεύμα 150% του ονομαστικού ρεύματος. Η υπερφόρτιση 30 % έχει τη δυνατότητα της διάθεσης ισχύος για συνθήκες έκτακτης κατάστασης που διαρκεί κάποιο μικρό χρονικό διάστημα. Η υπερφόρτιση σε ρεύμα για πέντε λεπτά δίνει τη δυνατότητα στη γεννήτρια να αντέξει τα μεγάλα ρεύματα εκκινήσεως των ασύγχρονων κινητήρων.

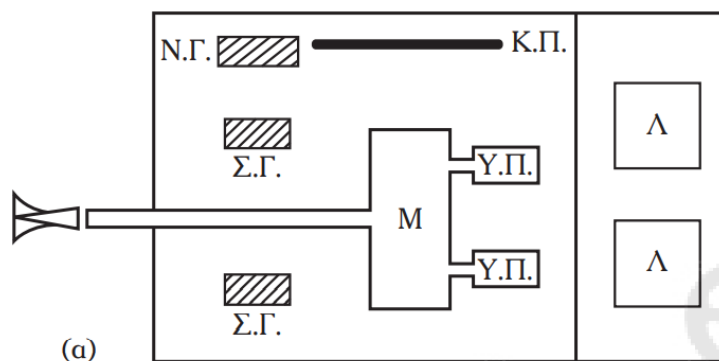
3.14.1.3. Ηλεκτροστάσιο και Ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη

Η ηλεκτρογεννήτρια και η Κύρια μηχανή συνιστούν το λεγόμενο ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος.

Οι κύριες μηχανές οι οποίες εγκαθίστανται στα πλοία είναι κυρίως οι ατμοστρόβιλοι αλλά και μηχανές εσωτερικής καύσεως (MEK). Πρακτικά η μορφή του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους συναύδει με τη μορφή της πρόωσης του πλοίου (πλοία με πρόωση ατμού η με πρόωση ντίζελ). Σε πλοία με πρόωση ατμού εγκαθίστανται στροβιλογεννήτριες για την ομαλή λειτουργία της ηλεκτρικής εγκατάστασης και ντιζελογεννήτριες για ασφάλεια σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης. Σε ειδικές περιπτώσεις υπάρχουν ντιζελογεννήτριες για την ομαλή λειτουργία της ηλεκτρικής εγκατάστασης όσο το πλοίο είναι σταθευμένο στο λιμάνι. Στην πρόωση με ντίζελ εγκαθίστανται συστοιχίες από ντιζελογεννήτριες για κάθε είδος της ηλεκτρικής εγκατάστασης (για κάθε ομάδα φορτίων πάνω στο πλοίο).

Ηλεκτροστάσιο είναι ο χώρος στον οποίο εγκαθίστανται τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, οι πίνακες διανομής και το σύστημα των διατάξεων για τους χειρισμούς και τον αρμόδη έλεγχο και την εποπτεία της παραγωγής και της διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας προς το εκάστοτε φορτίο. Τα ηλεκτροστάσια βρίσκονται στο μηχανοστάσιο του πλοίου για λόγους οικονομίας χώρου και πάντοτε υπάρχει προσωπικό το οποίο είναι υπεύθυνο για την επιτήρηση όλων αυτών των μηχανολογικών και ηλεκτρολογικών συστημάτων. Ο αριθμός αλλά και η μορφή του ηλεκτροστασίου εξαρτάται από το εκάστοτε πλοίο. Στα στροβιλοκίνητα κρουαζιερόπλοια τα οποία έχουν δύο μηχανοστάσια υπάρχουν δηλαδή δύο ηλεκτροστάσια τα οποία έχουν και αντίστοιχες στροβιλογεννήτριες.

Σε κάποια κρουαζιερόπλοια υπάρχει και μηχανοστάσιο με ντιζελογεννήτριες για ασφάλεια αλλά και για την ηλεκτρική λειτουργία του κρουαζιερόπλοιου όταν αυτό θα βρίσκεται στο λιμάνι. Σε όλα τα εμπορικά πλοία υπάρχει ένα ηλεκτροστάσιο έκτακτης ανάγκης το οποίο τροφοδοτεί τα κρίσιμα φορτία του πλοίου μας για κάποιο χρονικό διάστημα όταν οι ηλεκτρογεννήτριες κανονικής πορείας παρουσιάζουν κάποια βλάβη. [25]



Εικόνα 3.23: Ηλεκτροστάσιο Πλοίου το οποίο χρησιμοποιεί στρόβιλο για κινητήρα.

3.14.1.4. Συστήματα Αδιάλειπτης Παροχής Ισχύος –(Uninterruptible Power Supply-UPS)

Τι είναι τα UPS και ποια η χρησιμότητά τους

Τα συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος βρίσκονται στην ίδια κατηγορία με τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη δηλαδή στα συστήματα εφεδρικής παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και συνήθως χρησιμοποιούνται ως εφεδρική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε συνθήκες που υπάρχει διακοπή στην ηλεκτροδότηση του δικτύου του πλοίου ή σε κάποιες απότομες διακυμάνσεις της τάσης αυτής.

Είναι αναγκαία ή ύπαρξή τους όταν πρέπει να εξασφαλίσουμε την συνεχή και αδιάλειπτη λειτουργία κρίσιμων φορτίων, δηλαδή φορτίων του πλοίου που θα πρέπει πάντα να είναι σε ενεργή κατάσταση για την ομαλή λειτουργία του πλοίου. Επίσης τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται ώστε να προστατεύσουν ηλεκτρονικές συσκευές έναντι επικίνδυνων διαταραχών του δικτύου τροφοδότησης ηλεκτρικής ενέργειας. Τροφοδοτούν συνέχεια τα φορτία τους με ημιτονοειδή τάση με σταθερό πλάτος αλλά και συχνότητας δίχως να δίνουν σημασία στις διαταραχές του δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (υπερτάσεις κ.α.). Η διαδικασία λειτουργίας του συστήματος αδιάλειπτης παροχής ηλεκτρικής ενέργειας είναι πως η μεταγωγή γίνεται ακαριαία και το φορτίο έχει πάντα τη τροφοδότηση που χρειάζεται για εκτελεί την διεργασία του. Διαφέρει από τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη (H/Z) που χρειάζεται κάποιο μικρό χρονικό διάστημα μέχρι να τροφοδοτήσει το εκάστοτε φορτίο.

Γιατί είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούμε UPS

Τα συστήματα που διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια λόγω της πληθώρας των διατάξεων αλλά και την πολυπλοκότητα των διατάξεων αυτών έχουν ως αποτέλεσμα να παρουσιάζουν πολύ συχνά παραμορφώσεις των χαρακτηριστικών της τάσης αλλά και διακοπή της ηλεκτροδότησης. Επομένως η χαμηλή ποιότητα ισχύος έχει ως αποτέλεσμα την μη σωστή λειτουργία των ηλεκτρονικών συσκευών και φορτίων του πλοίου. Η ποιότητα ισχύος επηρεάζεται από τις διαταραχές της τάσης αλλά και της συχνότητας :

- Βύθιση τάσης
- Υπέρταση

- Μεταβατικές υπερτάσεις
- Διακοπές τροφοδοσίας
- Διακυμάνσεις τάσης

Η χρησιμοποίηση πολλών ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών που επηρεάζονται από τις μεγάλες ή μικρές διακοπές της ηλεκτροδότησης, αλλά και από την ποιότητα ισχύος που όπως αναφέραμε συσχετίζεται με τις παραμορφώσεις τάσης και συχνότητας. Η διακοπή της λειτουργίας κάποιων φορτίων έχει ως αποτέλεσμα κάποια οικονομική επίπτωση, διότι τα περισσότερα από αυτά τα φορτία είναι σε μία συνεχή διεργασία μέσα στο πλοίο για κάποιο σημαντικό στόχο. Επομένως ο μηχανικός του εκάστοτε πλοίου θα πρέπει να προβεί σε μία απόφαση και να κρίνει αν αυτές οι μικρές ή μεγάλες διακοπές τροφοδοσίας ή μεταβολές στην ποιότητα ισχύος έχουν ως αποτέλεσμα μεγάλες οικονομικές απώλειες και αν υπάρχουν μεγάλες οικονομικές απώλειες να εγκατασταθούν τα συστήματα αδιάλειπτης παροχής ηλεκτρικής ενέργειας τα οποία θα είναι άμεσα συνδεδεμένα με τα κρίσιμα φορτία πάνω στο πλοίο μας, τα φορτία δηλαδή που είναι τα πιο σημαντικά για την εκάστοτε εργασία πάνω στο πλοίο.

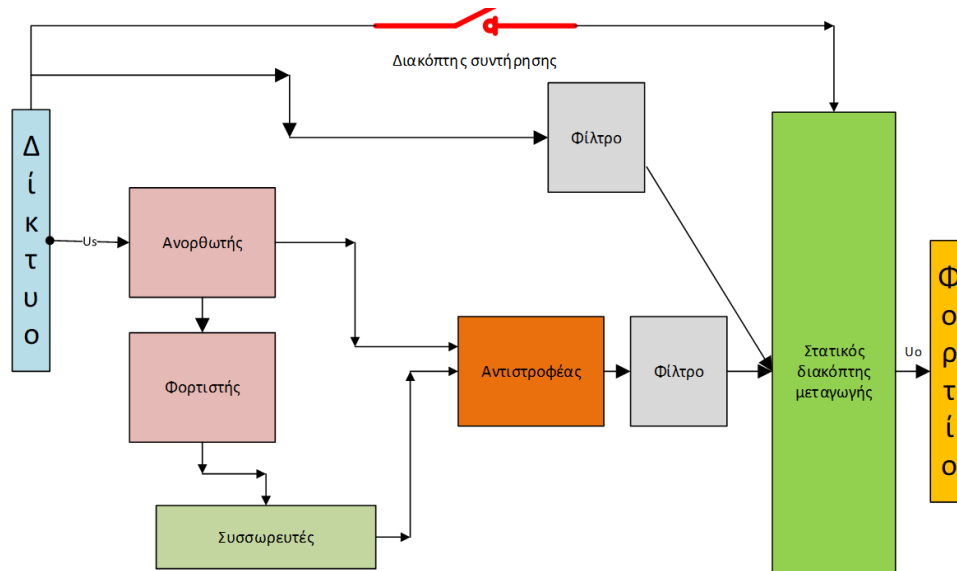
Αρχή λειτουργίας.

Ένα σύστημα αδιάλειπτης παροχής ισχύος διαχωρίζεται σε τρία βασικά μέρη όπως διαπιστώνουμε και από το παρακάτω σχήμα:

- Ένα ανορθωτή-φορτιστή
- Μια μπαταρία (συσσωρευτή)
- Έναν μετατροπέα (inverter)

Σε ομαλές συνθήκες λειτουργίας του δικτύου, τα εκάστοτε φορτία τροφοδοτούνται άμεσα από την τάση του δικτύου μας. Αν προσθέσουμε κάποιο φίλτρο οι διαταραχές της τάσης του δικτύου μας εξομαλύνονται σε μεγάλο βαθμό. Αναλόγως με ποιο τύπο UPS χρησιμοποιούμε ο μετατροπέας μπορεί να τροφοδοτεί το φορτίο με εξαιρετική ποιότητα ισχύος.

Οι συσσωρευτές φορτίζονται ώστε να βρίσκονται σε κατάσταση πλήρους φόρτισης από τον ανορθωτή-φορτιστή του οποίου η ισχύς αντιστοιχεί στο ρεύμα φόρτισης των συσσωρευτών, το οποίο αναλόγως της επιθυμητής ταχύτητας φόρτισης έχει τιμή αρκετά μικρότερη από το ρεύμα εκφόρτισης στο ονομαστικό φορτίο.



Εικόνα 3.24: Η πλήρης διαδικασία ενός συστήματος αδιάλειπτης παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Όταν γίνει αντιληπτή η διακοπή της τάσης του δικτύου ή κάποια άλλη διαταραχή και γίνεται αντιληπτό η υπέρβαση κάποιου ορίου που έχουμε τοποθετήσει, γίνεται μεταγωγή του φορτίου από το δίκτυο στον αντιστροφέα διαμέσου ενός στατικού διακόπτη μεταγωγής. Ο στατικός διακόπτης μεταγωγής απαρτίζεται από δύο αντιπαράλληλα θυρίστωρες (TRIAC) και ο μέγιστος χρόνος μεταγωγής του φορτίου είναι (5ms). Για να ελαχιστοποιηθούν οι διαταραχές στο φορτίο κατά τη μεταγωγή συγχρονίζουμε την τάση εξόδου του αντιστροφέα με την τάση του δικτύου.

Κατηγορίες συστημάτων αδιάλειπτης παροχής ισχύος

Line-interactive UPS : Η χρήση τους γίνεται κυρίως για την τροφοδότηση ηλεκτρονικών υπολογιστών. Ο αντιστροφέας τροφοδοτεί αδειάληπτα την έξοδο του UPS και την ίδια χρονική στιγμή φορτίζεται και ο συσσωρευτής. Όταν δεν υπάρχει τάση από το δίκτυο ο διακόπτης μεταγωγής ανοίγει και ο αντιστροφέας πλέον τροφοδοτείται από τον συσσωρευτή. Επομένως τα StandbyUPS μας δίνουν την δυνατότητα για μικρότερο χρόνο μεταγωγής αλλά και αδειάληπτο φιλτράρισμα της τάσης αφού τα φορτία τροφοδοτούνται πάντα μέσω του αντιστροφέα.

Διπλής Μετατροπής/Online UPS : Η χρήση τους γίνεται σε ηλεκτρικά μονωμένους χώρους και κυρίως για μηχανήματα τα οποία είναι ευαίσθητα σε διακυμάνσεις τάσεως. Σε κανονική λειτουργία ο ανορθωτής στην είσοδο φορτίζει τους συσσωρευτές και τροφοδοτεί συνεχώς τάση στον αντιστροφέα, που τροφοδοτεί το φορτίο. Όταν υπάρξει διακοπή της ηλεκτροδότησης του δικτύου ο διακόπτης μεταγωγής ανοίγει και πλέον ο αντιστροφέας τροφοδοτείται από τον συσσωρευτή και στην συνέχεια ο αντιστροφέας τροφοδοτεί το φορτίο.

Standby ή Offline UPS : Η χρήση τους γίνεται κυρίως για την τροφοδοσία φορτίων στο πλοίο. Διαθέτουν τις δυνατότητες για προστασία από υπερτάσεις και διακοπές ρεύματος. Ο διακόπτης μεταγωγής βρίσκεται στην έξοδο και χρησιμοποιεί ως κύρια επιλογή τροφοδοσίας την φιλτραρισμένη τάση του δικτύου και σε περίπτωση απώλειας της γίνεται αυτόματη μεταγωγή της τροφοδοσίας στον αντιστροφέα που φορτίζεται από τον συσσωρευτή. Ο

αντιστροφείας βρίσκεται συνεχώς σε αναμονή επομένως για αυτό το λόγο τα συγκεκριμένα UPS ονομάζονται Stand by.

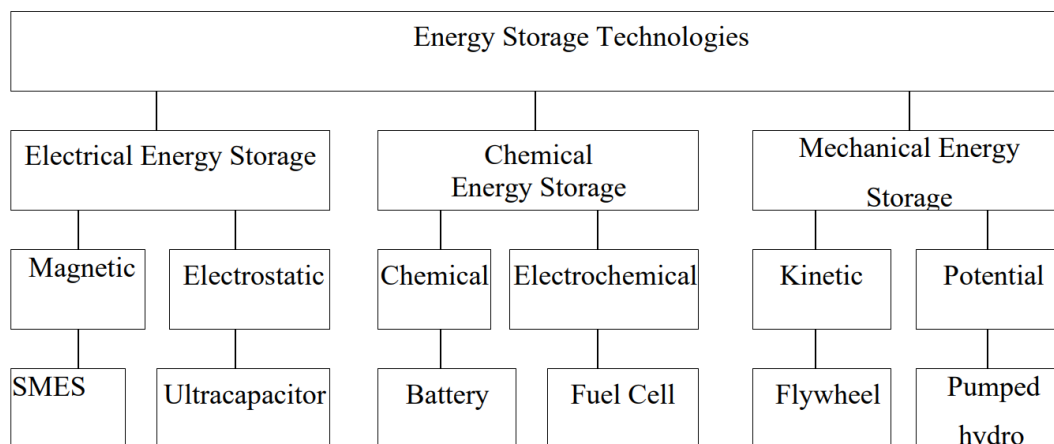
Επιλογή UPS

Πρέπει να προσέξουμε ιδιαίτερα τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά όταν πρόκειται να επιλέξουμε UPS :

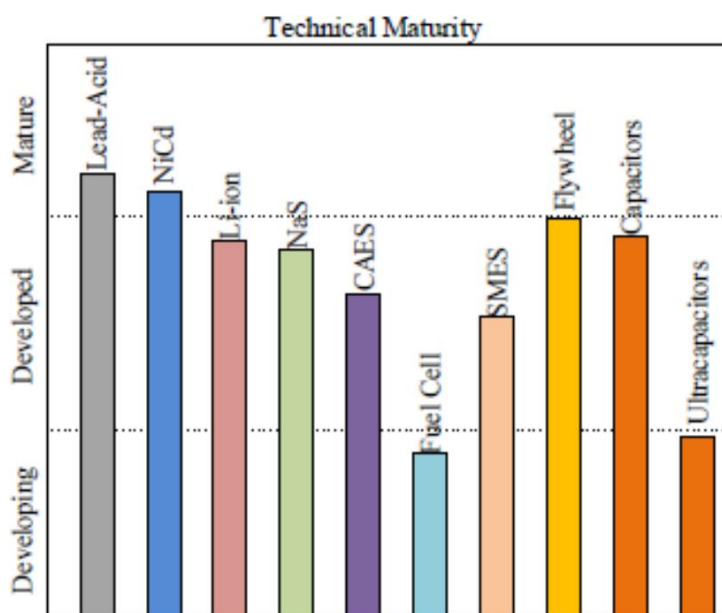
- Συσσωρευτές Μολύβδου κλειστού τύπου σε κτιριακές εγκαταστάσεις
- Συσσωρευτές Νικελίου – Καδμίου σε βιομηχανικές εφαρμογές
- Όρια ανοχής εισόδου UPS : Για τις ανοχές τάσης εισόδου ίσχυει γενικά ότι όσο ευρύτερα είναι τα όρια ανοχής στην είσοδο τόσο μεγαλύτερη διάρκεια ζωής θα έχουν οι συσσωρευτές του UPS, αλλιώς τα έξοδα συντήρησης θα αυξηθούν σε πολύ μεγάλο βαθμό.
- Ένα πολύ σημαντικό κριτήριο για την επιλογή του κατάλληλου UPS για την εκάστοτε εφαρμογή, και στην περίπτωση μας για τα κύρια φορτία του πλοίου που θέλουμε όλο το 24ωρο να βρίσκονται σε λειτουργία είναι ο χρόνος αυτονομίας δηλαδή ο χρόνος που το UPS έχει τη δυνατότητα να τροφοδοτεί τα φορτία μας κατά τη διάρκεια που υπάρχει μία διακοπή της ηλεκτροδότησης του δικτύου.
- Επίσης θα πρέπει να γνωρίζουμε τη συνολική ισχύ η οποία είναι το άθροισμα της ισχύος των φορτίων για τα οποία θέλουμε να έχουμε αυτονομία. Αθροίζουμε όλα τα Watt, δηλαδή την πραγματική ισχύ των φορτίων και τα διαιρούμε με το συντελεστή ισχύος για να βρούμε τη φαινόμενη ισχύ που θα πρέπει να έχει το UPS για την δικιά μας εφαρμογή, αλλά προσθέτουμε και ένα 25% λόγω ασφάλειας και επιλέγουμε το αμέσως επόμενο σε πιο κοντινό σε ισχύ (VA) από τον κατάλογο UPS.[22],[23],[24].

3.14.2. Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας (Συστήματα Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας)

Αρχικά ένα σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας διαθέτει μία διάταξη αποθήκευσης ενέργειας, ένα μετατροπέα ισχύος αλλά και την διάταξη έλεγχου του. Οι διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας αποτελούνται από : επαναφορτιζόμενους συσσωρευτές, κυψέλες καυσίμου (FCs), πυκνωτές, υπεραγωγία πηνία αλλά και συστήματα αποθήκευσης μαγνητικής ενέργειας (SMES), σφονδύλους(Flywheels-Flywheel Energy Storage System),Κυψέλες Καυσίμου(Fuell Cells) και Αντλιοσταμείωση(pumbed hydro). Αυτές οι διατάξεις έχουν αρκετές διαφορές μεταξύ τους όσον αφορά την απόδοση τους, το ρυθμό φόρτισης-εκφόρτισης, την πυκνότητα ενέργειας και ισχύος, το χρονικό διάστημα ζωής τους κ.α. Σε γενικά πλαίσια διαφοροποιούνται σε τρεις διαφορετικές ομάδες αναλόγως το τύπο της αποθηκευμένης ενέργειας (ηλεκτρικής, χημικής, μηχανικής), όπως διαπιστώνουμε και στην παρακάτω εικόνα.

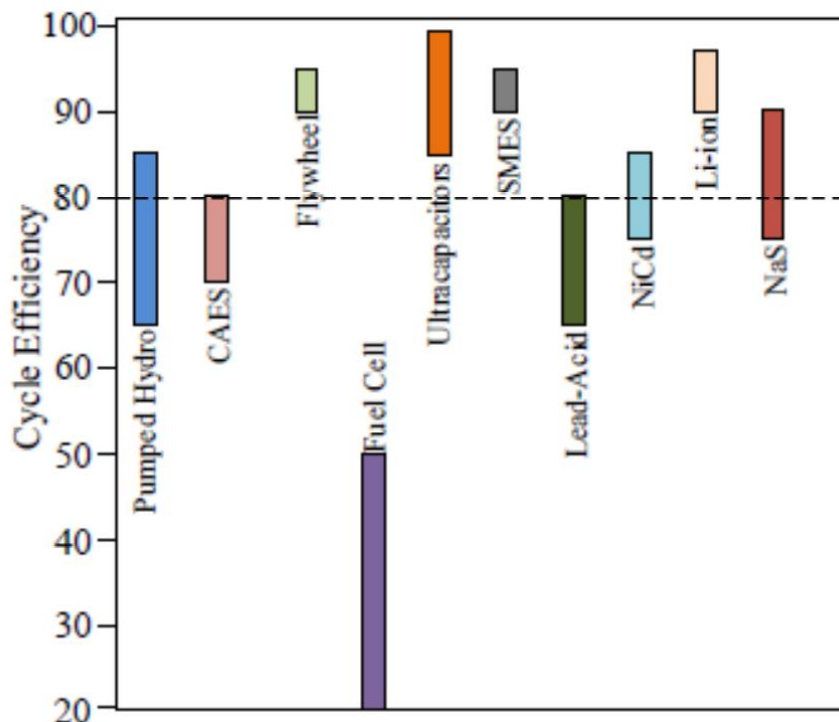


Εικόνα 3.25: Τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας.



Εικόνα 3.26: Ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη

Η τεχνολογική αναβάθμιση και εξέλιξη των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας μπορεί να γίνει πιο κατανοήτη από το παρακάτω γράφημα και διαχωρίζονται σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες, τις τεχνολογίες προς χρήση άμεσα, τις αναπτυγμένες αλλά και τις αναπτυσσόμενες τεχνολογίες, π.χ το μόλυβδο-οξύ χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια (NiCd, NaS), SMES αλλά και ο υπερπυκνωτής, ο σφόνδυλος είναι τεχνολογίες που πρακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αν και δεν χρησιμοποιούνται σε πολύ μεγάλο φάσμα για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κυψέλες καυσίμου είναι στη φάση των δοκιμών και ανάπτυξης με μεγάλες υποσχέσεις απόδοσης για το μέλλον, διότι αποθηκεύει υδρογόνο που η χρησιμοποίησή του είναι σημείο αναφοράς αυτής της έρευνας. Η αποτελεσματικότητα των διαφορετικών συστημάτων (διατάξεων) για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα, στο οποίο μπορούμε ξεκάθαρα να διακρίνουμε ότι ο σφόνδυλος, ο SMES αλλά και ο υπερπυκνωτής έχουν μεγάλο βαθμό απόδοσης.



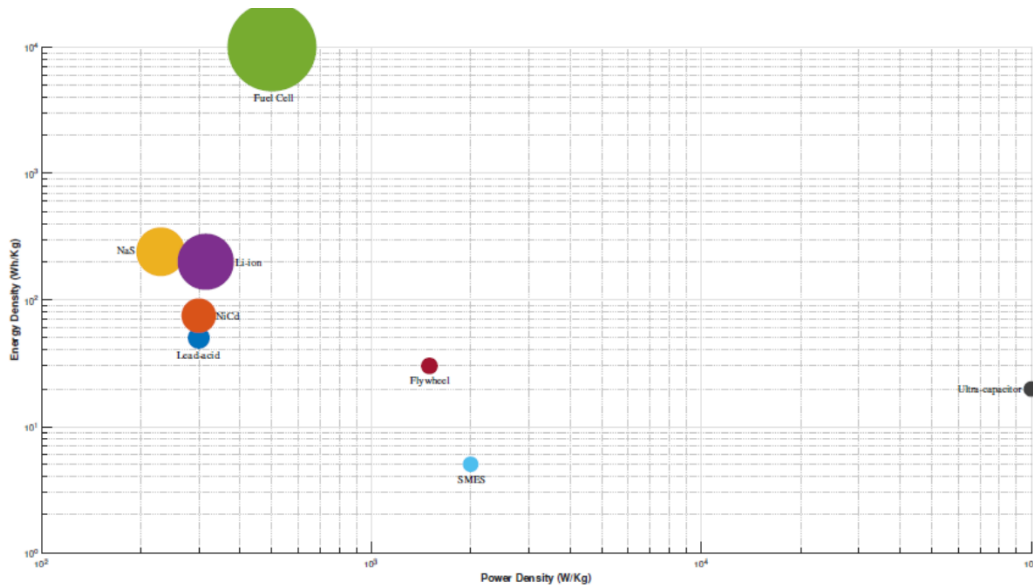
Εικόνα 3.27: Η διαφορά απόδοσης ανάμεσα στα συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

3.14.2.1. Σύστημα Υβριδικής Αποθήκευσης Ενέργειας HESS

Στην συνέχεια θα εξεταστεί το σύστημα υβριδικής αποθήκευσης ενέργειας HESS. Το σύστημα αυτό είναι ένας πολύπλοκος συνδυασμός από τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας που έχουν αρκετές διαφορές στα κύρια χαρακτηριστικά όσον αφορά στην χωρητικότητα, τη φόρτιση, τη πυκνότητα ενέργειας, ισχύος, του ποσοστού απόκρισης και διάρκειας ζωής. Στο παρακάτω σχήμα αναπαρίσταται η σύγκριση της πυκνότητας ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και ισχύος καθώς και το συνολικό κόστος.

Οι τεχνολογίες ESS μπορούν να θεματοποιηθούν σε τεχνολογίες με αρκετά υψηλή ενέργεια και ισχύ. Ενεργειακές συσκευές σαν μπαταρίες, κυψέλες καυσίμου και υδροηλεκτρική αντλία έχουν την δυνατότητα να τροφοδοτούν τα φορτία του πλοίου για μεγάλο χρονικό διάστημα αλλά έχουν χαμηλή ισχύ. Αντιθέτως συσκευές σαν τον σφόνδυλο, ο υπερ-πυκνωτής, οι SMES και οι μπαταρίες έχουν την δυνατότητα να τροφοδοτούν με μεγαλύτερη ισχύ αλλά για μικρότερο χρονικό διάστημα. Η τεχνολογία των μπαταριών έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί και στις δύο κατηγορίες λόγω των πολλών και ουσιαστικών χαρακτηριστικών που συνθέτουν.

Επομένως κάνοντας χρήση της υβριδικής τεχνολογίας με συσκευές υψηλότερης ενεργειακής πυκνότητας θα έχει ως αποτέλεσμα μία καλύτερη ισχύς σε ένα ESS. Επομένως οι συσκευές υψηλότερης ισχύος θα παρέχουν μακροπρόθεσμη ισχύ ενώ οι συσκευές χαμηλότερης ισχύος θα τροφοδοτούν για μικρή χρονική διάρκεια σε καταστάσεις με υψηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις από τα φορτία του πλοίου. Οι εφαρμογές αναπαρίστανται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 3.28: Σύγκριση των διάφορων τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας.

Energy Supplier	Power Supplier	References
Battery	Ultra-capacitor	[79,80]
	SMES	[81]
	Flywheel	[82,83]
Fuel cell	Flywheel	-
	SMES	[84]
	Ultra-capacitor	[85]
	Battery	[86]
CAES	Flywheel	[87]
	SMES	-
	Ultra-capacitor	[88]
	Battery	-

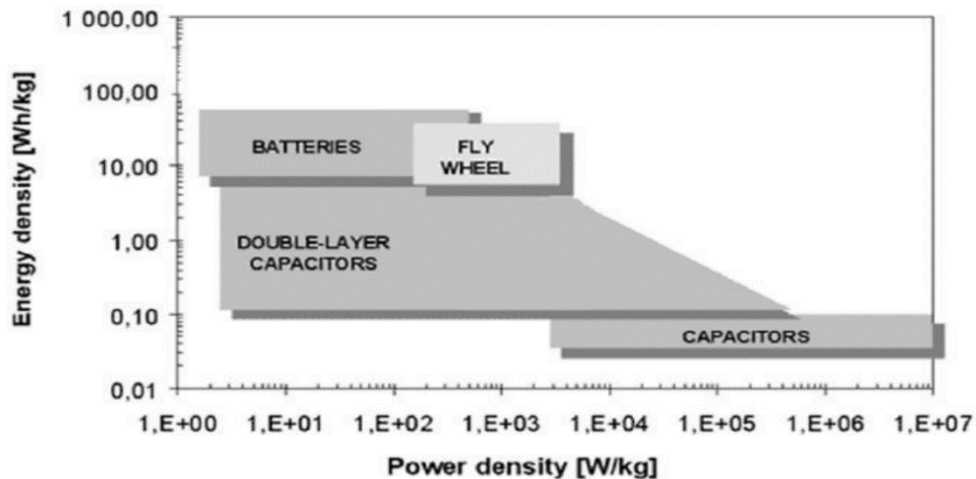
Εικόνα 3.29: Πιθανό σύζευγμα συστημάτων υβριδικής αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

3.14.2.2. Energy Storage Devices for All-Electric Ships

Η ανάπτυξη των τεχνολογιών για δημιουργία συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας για τα πλοία αναφέρεται στον Οδικό Χάρτη Τεχνολογικής Ανάπτυξης από το 2007 και το 2013 οι μπαταρίες, πυκνωτές και οι flywheels δοκιμάζονται πειραματικά ως μελλοντικές τεχνολογίες για χρήση σε πλοία. Η μπαταρία είναι η πρώτη ηλεκτροχημική συσκευή με μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα αλλά με χαμηλή πυκνότητα ισχύος, ενώ οι υπερ-πυκνωτές αποθηκεύουν ενέργεια σε μία ηλεκτρική περιοχή χωρίς τη διαδικασία χημικών αντιδράσεων, ενώ οι Flywheels αποθηκεύουν ενέργεια με μηχανικό τρόπο διαμέσου της κινητικής ενέργειας.

Και οι δύο δίνουν πυκνότητα ισχύος υψηλότερη από αυτή των συσσωρευτών αλλά το χαμηλό ποσοστό σε πυκνότητα ηλεκτρικής ενέργειας κάνουν τους υπερ-πυκνωτές και Flywheel μη κατάλληλους για συνεχή και αδιάλειπτη λειτουργία. Από το γράφημα Ragone των μπαταριών, υπερπυκνωτών και Flywheels γίνεται κατανοητό ότι πρέπει να

πραγματοποιηθούν διαφορετικοί συνδυασμοί για διαφορετικές εφαρμογές. Ο συνδυασμός των διάφορων τύπων ESDs είναι ουσιαστικά ένα σύστημα αποθήκευσης υβριδικής ενέργειας.



Εικόνα 3.30: Είδη για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας

Τα ESD και τα HESS έχουν χρησιμοποιηθεί στην αυτοκινητοβιομηχανία και χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα αλλά στις θαλάσσιες εφαρμογές δεν χρησιμοποιούνται ακόμα σε μεγάλο ποσοστό. [27]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: Μοντελοποίηση Υβριδικού Συστήματος

4.1. Εισαγωγή

Η ναυτιλία δέχεται τα τελευταία χρόνια έντονες πιέσεις ώστε να μειώσει τους εκπεμπόμενους ρύπους προς το περιβάλλον και γι' αυτόν τον λόγο έχει χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση μία από τις προτεινόμενες λύσεις, η οποία είναι ένα υβριδικό σύστημα πρόωσης κυψελών καυσίμου. Το υβριδικό σύστημα απαρτίζεται κυρίως από την κυψέλη καυσίμου αλλά και τον συσσωρευτή (μπαταρία). Επίσης απαρτίζεται και από το Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας (Energy Management System – EMS), το οποίο είναι υπεύθυνο για τον διαχωρισμό της απαίτησης της ισχύος πρόωσης μεταξύ του συσσωρευτή και της κυψέλης καυσίμου. Μέσω προγραμμάτων εξομοίωσης θα διαπιστώσουμε την αποτελεσματικότητα των υβριδικών συστημάτων πρόωσης κυψελών καυσίμου και συσσωρευτών και θα προβούμε σε αλλαγές για τη βελτιστοποίηση των συστημάτων μας. Τα μοντέλα προσομοίωσης βρίσκονται στην εργαλειοθήκη SimPowerSystems του Simulink.

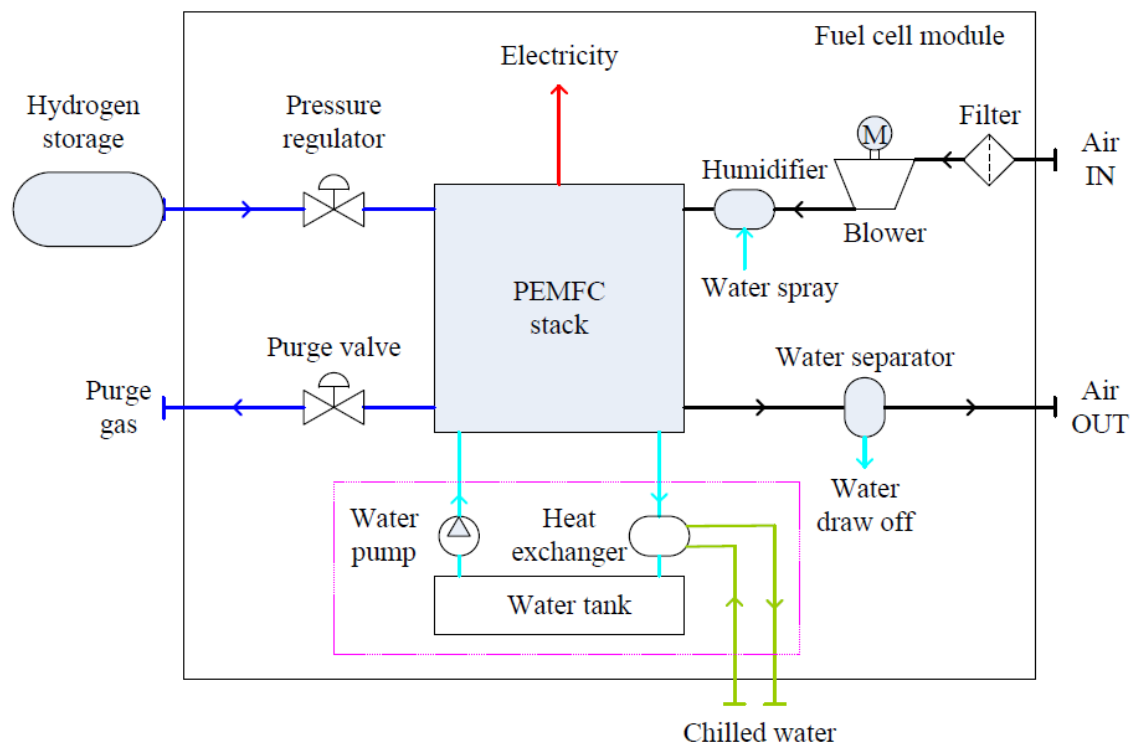
Ο σκοπός της μοντελοποίησης αυτής, είναι να εξαχθούν συμπεράσματα σε σχέση με τη δυνατότητα χρησιμοποίησης των κυψελών καυσίμου σε ηλεκτροπροωθούμενα πλοία, προκειμένου να μειωθεί η απαιτούμενη χωρητικότητα συσσωρευτών για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, έτσι ώστε να μην καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο στο πλοίο και να μην επιβαρύνουν επιπλέον με το βάρος τους. Επιπροσθέτως, στην περίπτωση που χρησιμοποιείται έτοιμο υδρογόνο, αυτό αποθηκεύεται σε ειδικές δεξαμενές υπό υψηλή πίεση, συνεπώς δεν καταλαμβάνεται μεγάλος χώρος στο πλοίο, εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη αυτονομία για το δίκτυο χρήσης του πλοίου αλλά και για την ηλεκτροπρόωσή του. Το τελευταίο διάστημα αναδύεται και η δυνατότητα παραγωγής υδρογόνου εν πλω, αντλώντας και αφαλατώνοντας θαλασσινό νερό, στο οποίο μπορούμε να κάνουμε ηλεκτρόλυση με την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από εναλλακτικούς τρόπους παραγωγής, φιλικούς προς το περιβάλλον, παράγοντας υδρογόνο για τις κυψέλες καυσίμου, χωρίς ιδιαίτερη επιβάρυνση για το περιβάλλον. Παράλληλα, μπορούν να συνδυαστούν τα συστήματα μεταξύ τους, αυξάνοντας την ενεργειακή επάρκεια του πλοίου, για όλες τις ανάγκες του. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η συνύπαρξη των κυψελών καυσίμου με συσσωρευτές ή επιπλέον και με την προσθήκη ηλεκτροπαραγωγών ζευγών ως εφεδρικές πηγές ενέργειας για περίπτωση ανάγκης. Όπως είναι ευκόλως αντιληπτό, το περιβάλλον της Ναυτιλίας θα μας απασχολήσει έντονα στο προσεχές μέλλον, καθώς υπάρχει η δυναμική για εφαρμογή πολλών διαφορετικών υβριδικών συστημάτων, προκειμένου να επιτευχθούν οι σχετικές δεσμεύσεις για δραστική μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων.

4.2. Κυψέλες Καυσίμου (Fuel Cells)

Κατά την μοντελοποίηση των κυψελών καυσίμου θα πρέπει να αναλυθούν και να μελετηθούν αναλυτικά τα στοιχεία τους. Τα μοντέλα αυτά μπορούμε να τα εκμεταλλευτούμε για τη βελτιστοποίησή τους αλλά και για τον έλεγχο και την βελτίωση της απόδοσής τους σε διαφορετικές συνθήκες. Με βάση τις τελευταίες εφαρμογές που υλοποιήθηκαν το PEMFC συγκεντρώνει πολλά πλεονεκτήματα καθώς έδειξε αξιόπιστο για

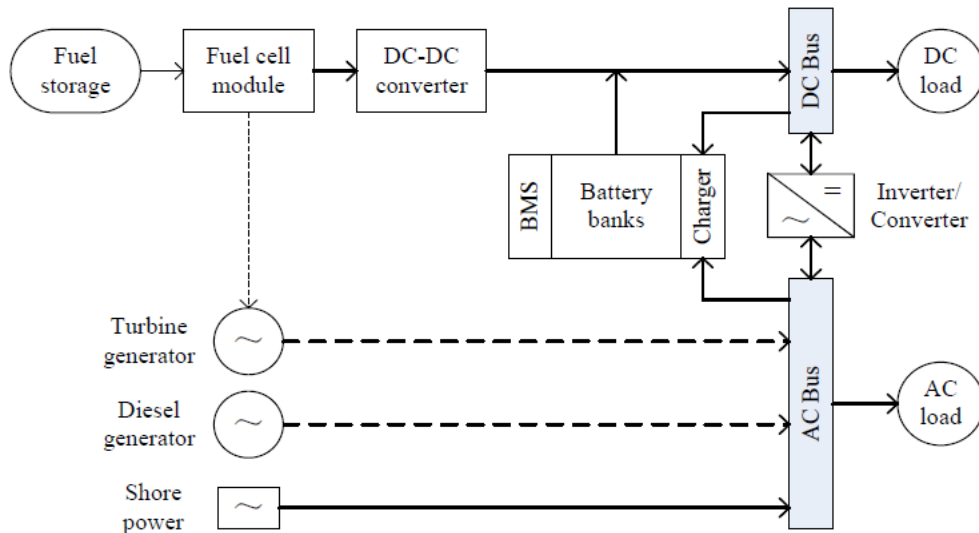
εφαρμογές σε επιβατηγά πλοία. Το PEMFC μοντελοποιείται σε τρία στάδια με εμπειρικά, ημιεμπειρικά ή θεωρητικά μοντέλα. Τα εμπειρικά μοντέλα είναι υλοποιημένα με δεδομένα που έχουμε συλλέξει από πειράματα για την σχέση μεταξύ εισόδων-εξόδων κυψελών καυσίμου. Άρα η διαδικασία είναι απλή και τα αποτελέσματα δεν αργούν με μοναδικό ελάττωμα να μην μπορεί να προσδιορίσει το καύσιμο με την απόδοση των κυψελών. Επίσης έχουμε και τα μηχανιστικά μοντέλα που βασίζονται στην ηλεκτροχημεία των κυψελών καυσίμου και αντιλαμβανόμαστε πολύ περισσότερο τις κυψέλλες καυσίμου αλλά η διαδικασίες αυτές κρατούν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Τα ημι-εμπειρικά μοντέλα τώρα συνδυάζουν τα εμπειρικά μοντέλα με τα μηχανιστικά μοντέλα, άρα είναι τα πιο πλήρη μοντέλα για τη κυψέλη καυσίμου.

Ένα γενικό μοντέλο κυψέλης καυσίμου αντιπροσωπεύει το δυναμικό και τις σταθερές κατάσταση κυψελών καυσίμου που τροφοδοτούνται από υδρογόνο αλλά και αέρα. Το συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιεί τα ηλεκτροχημικά χαρακτηριστικά διάφορων μοντέλων κυψελών καυσίμου και είναι κατάλληλο για προσομοιώσεις υβριδικών συστημάτων κυψελών καυσίμου. Αυτό το μοντέλο υπάρχει στο SimPowerSystems ως ένα γενικό μοντέλο κυψελών καυσίμου υδρογόνου. Σύμφωνα με το Simulink μπορούμε να διαλέξουμε ανάμεσα σε τέσσερα προκαθορισμένα μοντέλα κυψελών καυσίμου. Τέσσερα είδη PEMFC είναι στο σύστημα και μπορούμε να τα επιλέξουμε με την ισχύ να κυμαίνεται από 1.2Kw έως 50kW. Το σχηματικό διάγραμμα ενός PEMFC, παρουσιάζεται παρακάτω:



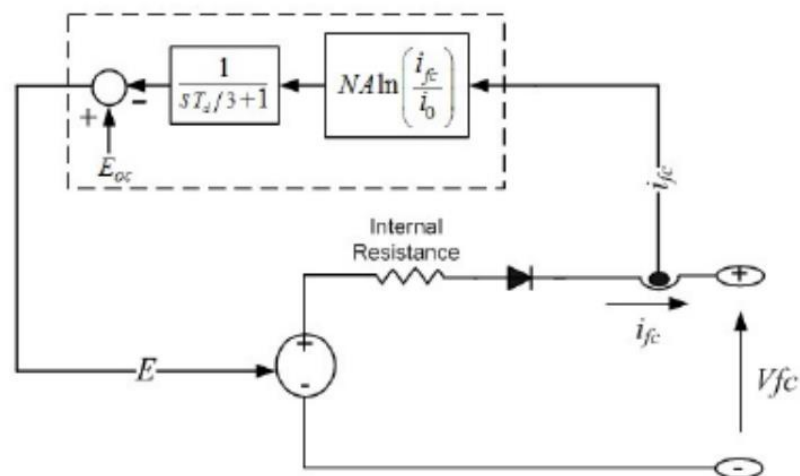
Εικόνα 4.1: Σχηματικό διάγραμμα μιας μονάδας ενός PEMFC (proton exchange membrane fuel cell).

Επίσης, είναι σημαντικό το ενδιαφέρον για την χρησιμοποίηση των κυψελών καυσίμου στη ναυτιλία, όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα:



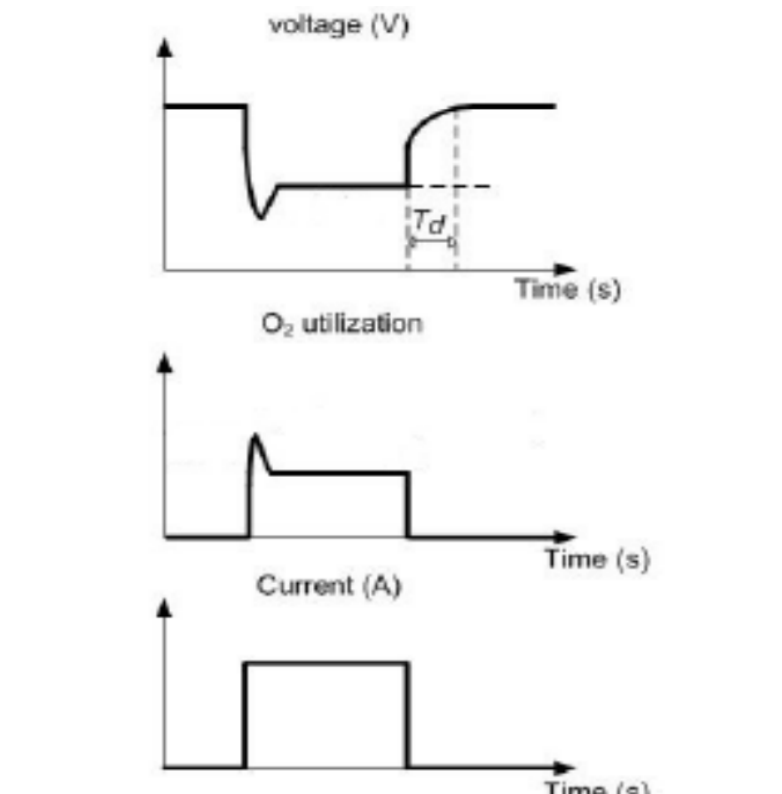
Εικόνα 4.2: Σχηματικό διάγραμμα συστήματος ισχύος με κυψέλη καυσίμου στη ναυτιλία . (BMS– Σύστημα διαχείρισης συσσωρευτών - battery management system).

Στη συνέχεια ακολουθεί ένα ισοδύναμο κύκλωμα μοντέλου κυψελών καυσίμου το οποίο φαίνεται στο κάτωθι σχήμα:



Εικόνα 4.3: Ισοδύναμο κύκλωμα μοντέλου κυψελών καυσίμου

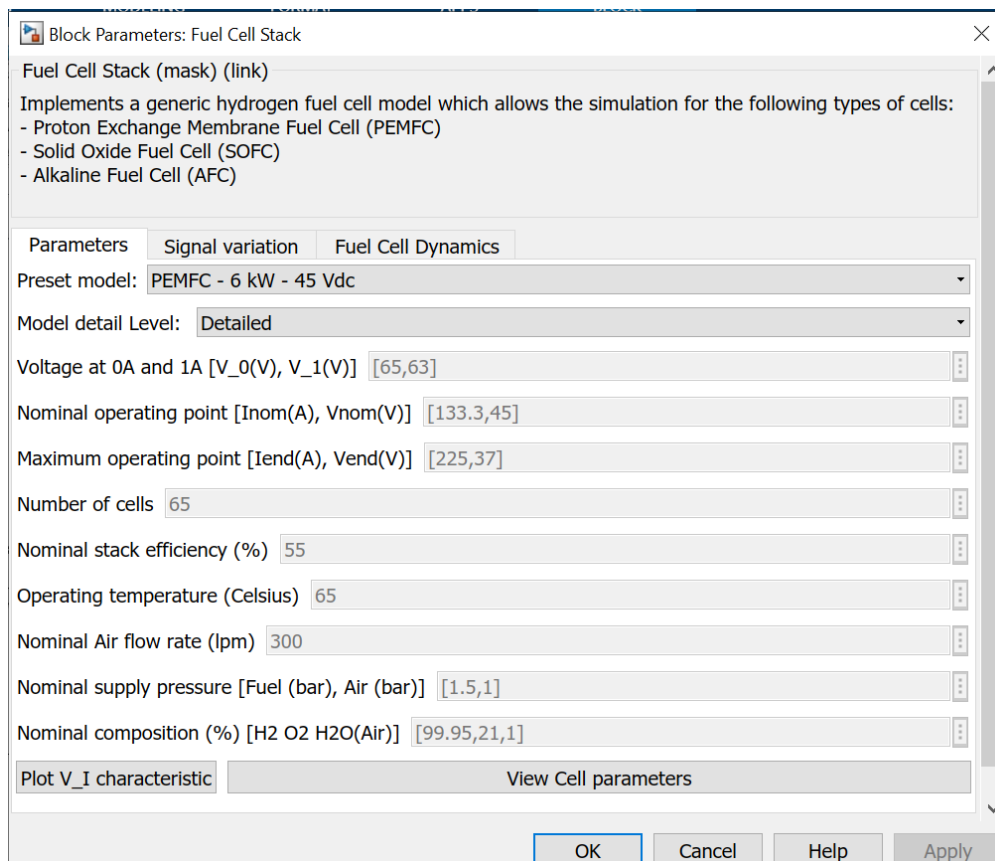
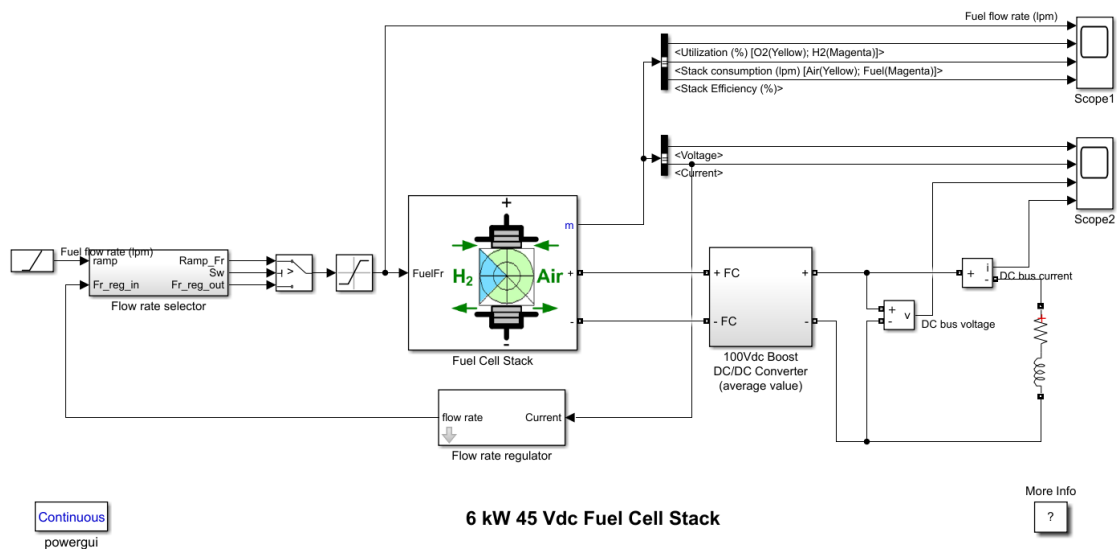
Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει τη δυνατότητα να προβλέψει την απόδοση των κυψελών καυσίμου τόσο σε αρχικές συνθήκες λειτουργίας όσο και σε συνθήκες λειτουργίας με σφάλμα λιγότερο από 1% συμπεριλαμβάνοντας και το χρόνο απόκρισης κυψελών καυσίμου που ουσιαστικά μας αναπαριστά την χρονική καθυστέρηση της κυψέλης καυσίμου σε κάποιες εναλλαγές του ρεύματος των κυψελών καυσίμου όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε και στο παρακάτω σχήμα: Επίσης ο χρόνος απόκρισης κυψελών καυσίμου δίνεται από τον κατασκευαστή και αλλάζει ανάλογα με την επιλογή του τύπου κυψέλης καυσίμου στην εκάστοτε εφαρμογή μας.



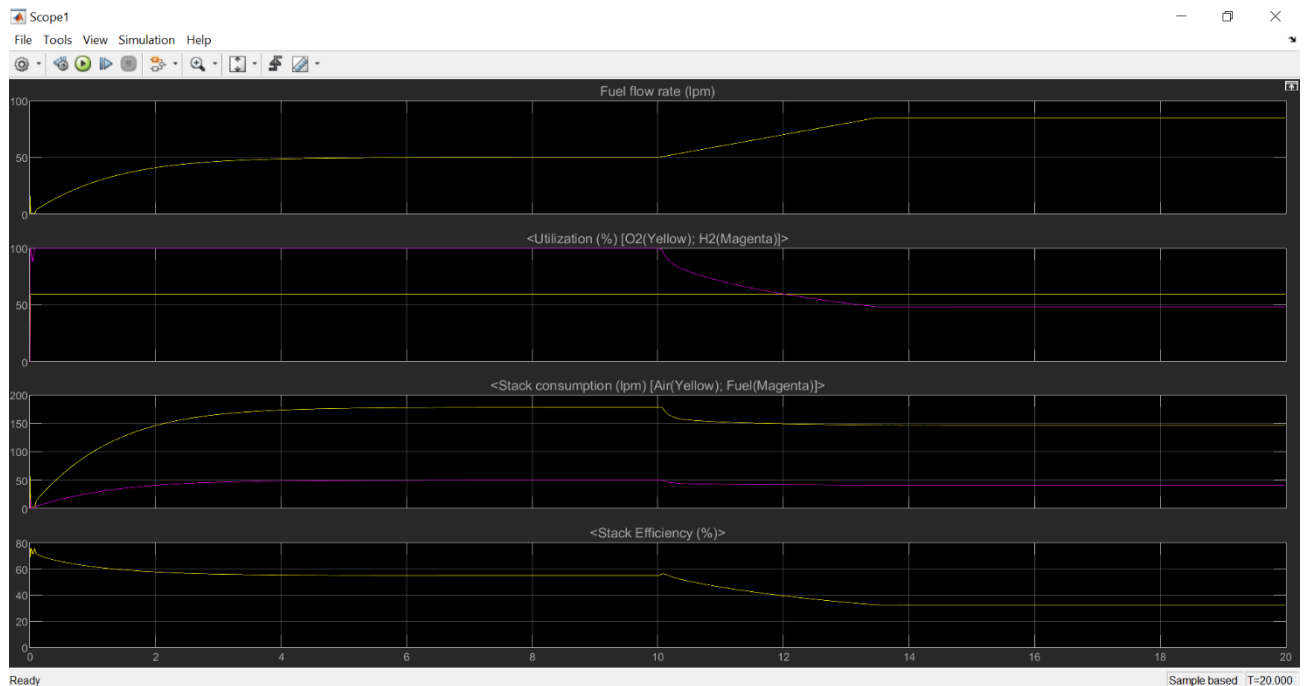
Εικόνα 4.4: Χρόνος απόκρισης κυψελών καυσίμου

Επιπρόσθετα το υδρογόνο αποθηκεύεται ως ένα κρυογονικό υγρό σε δεξαμενές όπως προτιμάται κατά τις εφαρμογές κυψελών καυσίμου στα πλοία.

Επίσης μπορούμε να αντλήσουμε υδρογόνο από την ηλιακή ενέργεια δια μέσου ηλεκτρόλυσης με χρήση φωτοβολταϊκών συστοιχιών. Χρησιμοποιούμε την ηλιακή ενέργεια για να παράξουμε υδρογόνο για να δημιουργήσουμε ένα καύσιμο με μηδενικές εκπομπές προς το περιβάλλον που είναι και ο κύριος λόγος που προσπαθούμε να χρησιμοποιήσουμε τις κυψέλες καυσίμου στη ναυτιλία. Ακόμα αν χρειαστεί να χρησιμοποιήσουμε ορυκτά καύσιμα για να παράξουμε υδρογόνο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μία καινοτόμα μέθοδο που ονομάζεται Carbon Capture and Storage (CCS) η οποία είναι μια μέθοδος που μειώνει σε μεγάλο ποσοστό τις εκπομπές CO₂. Στην συνέχεια ακολουθεί η μοντελοποίηση ενός συστήματος μιας συγκεκριμένης κυψέλης καυσίμου PEMFC.

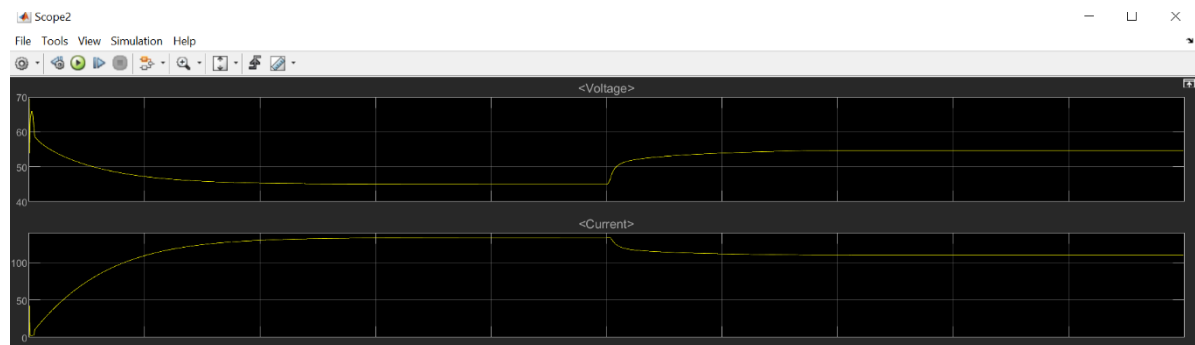


Αρχικά βλέπουμε το κύκλωμα που μοντελοποιήσαμε στο matlab το οποίο περιέχει ως κύρια μέρη: Μία κυψέλη καυσίμου PEMFC με έναν μετατροπέα DC/DC και δύο dc bus, τάσης (voltage) και ρεύματος (current) με κάποια βασικά μέρη του συστήματος. Επίσης έχει τοποθετηθεί και η παραμετροποίηση του βασικού μέρους (Block Parameters fuel cell stack) του κυκλώματος δηλαδή της κυψέλης καυσίμου PEMFC. Στη συγκεκριμένη μοντελοποίηση του συστήματος έχουμε τοποθετήσει 2 παλμογράφους (scopes) ώστε να πάρουμε τις κατάλληλες εξόδους που θέλουμε να μελετήσουμε.



Το scope 1 είναι υπεύθυνο για να μας δείξει κάποιες σημαντικές εξόδους όσον αφορά τη κυψέλη καυσίμου (fuel flow rate). Οι εξόδοι είναι οι εξής:

1. Ο ρυθμός ροής καυσίμου.
2. Χρησιμοποίηση υδρογόνου-οξυγόνου.
3. Κατανάλωση συστοιχιών της κυψέλης καυσίμου.
4. Απόδοση συστοιχίας της κυψέλης καυσίμου.



Το scope 2 έχει τοποθετηθεί ώστε να αντιληφθούμε κάποια σημαντικά πράγματα όσον αφορά τον DC/DC μετατροπέα μας. Οι εξόδοι είναι οι εξής:

1. Τάση εξόδου του μετατροπέα.
2. Ρεύμα εξόδου του μετατροπέα.

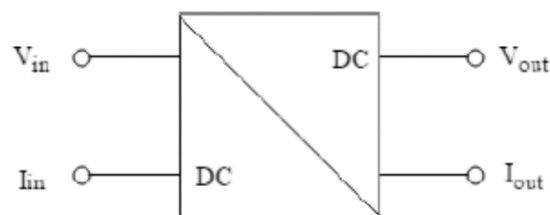
4.3. Μετατροπέας Σ.Π. – Σ.Π. (DC-DC Converter)

Όσον αφορά την τάση των στοιχείων (εξαρτημάτων) του υβριδικού συστήματος διαφοροποιείται αναλόγως με το απαιτούμενο ρεύμα της πηγής ενέργειας.

Άρα χρειαζόμαστε ένα κύκλωμα το οποίο να έχει τη δυνατότητα να σταθεροποιεί την τάση της πηγής ισχύος αλλά και να τροφοδοτεί την ίδια στιγμή το εκάστοτε φορτίο μας. Για να ρυθμιστεί η ισχύς εξόδου του PEMFC, μπορούμε να προβούμε στη λύση ενός μετατροπέα DC-DC. Υπάρχουν αρκετοί τύποι μετατροπέων όπως:

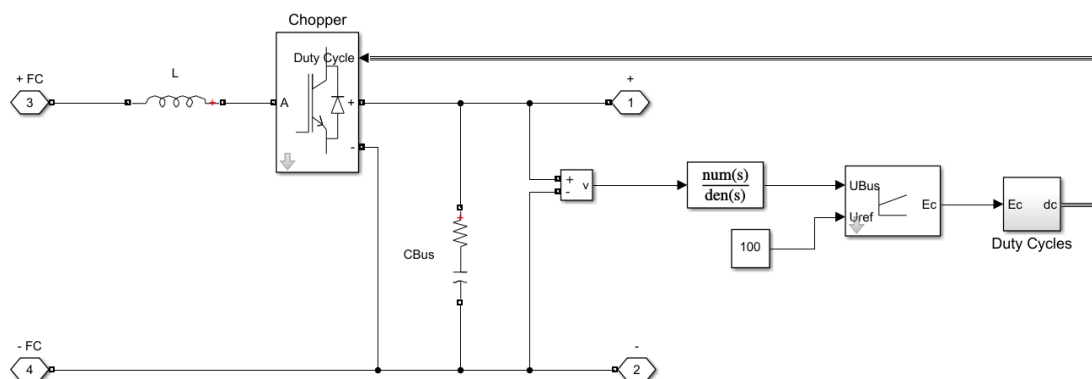
- οι μετατροπείς ανύψωσης οι οποίοι έχουν ως λειτουργία να αυξάνουν την τάση,
- οι μετατροπείς υποβιβασμού (buck) οι οποίοι έχουν ως λειτουργία την μείωση της τάσης αλλά υπάρχουν και
- οι μετατροπείς υποβιβασμού - ανύψωσης (buck-boost) που έχουν την δυνατότητα και να αυξάνουν αλλά και να μειώνουν την τάση.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο μετατροπέας DC-DC με σταθερή απόδοση, περίπου 95 %, με V_{out} , V_{in} , I_{out} , I_{in} τάση και ρεύμα εξόδου και εισόδου αντίστοιχα. Τα μεγέθη εξόδου είναι τα επιθυμητά για την εφαρμογή μας.

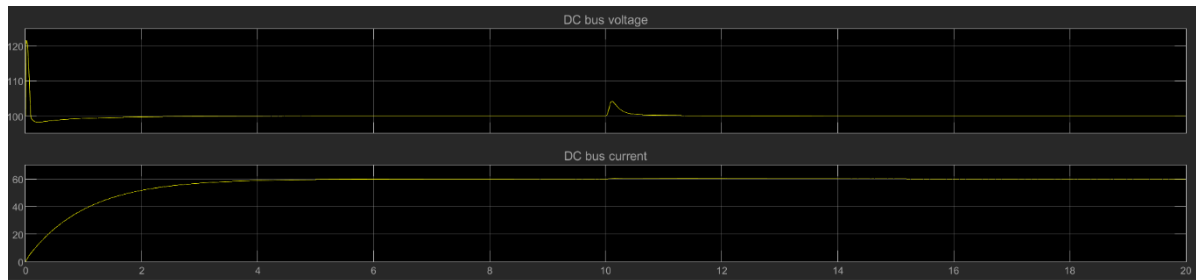


Εικόνα 4.5: DC/CD Μετατροπέας

Το κύκλωμα υλοποίησης του μετατροπέα DC-DC, φαίνεται παρακάτω:



Στην συγκεκριμένη απεικόνιση της υλοποίησης, φαίνεται το εσωτερικό κύκλωμα του μετατροπέα DC-DC στο Simulink του Matlab.



Οι εξόδοι του μετατροπέα που φαίνονται παραπάνω, είναι οι εξής:

1. Τάση εξόδου του μετατροπέα.
2. Ρεύμα εξόδου μετατροπέα.

4.4. Συσσωρευτές (Batteries)

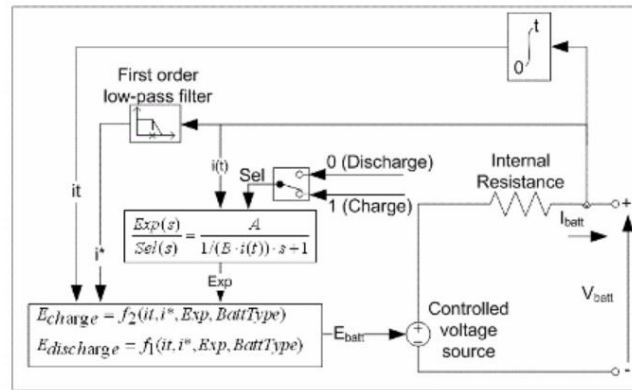
Οι συσσωρευτές είναι η βασική συσκευή αποθήκευσης ενέργειας, επομένως η μοντελοποίηση των συσσωρευτών παίζει σημαντικό ρόλο στην μελέτη μας πάνω στο υβριδικό σύστημα πρόωσης κυψελών καυσίμου. Η μοντελοποίηση των συσσωρευτών μπορεί να διαχωριστεί σε δύο βασικές κατηγορίες, οι οποίες είναι:

- τα ηλεκτροχημικά μοντέλα συσσωρευτών: σχεδιάζονται με θεμέλιο την εξίσωση Shepherd που αναπαριστά την ηλεκτροχημική συμπεριφορά των μπαταριών.
- τα μοντέλα ισοδύναμου κυκλώματος συσσωρευτών: βασίζονται σε κύκλωμα κάνουν χρήση συνδυασμού πηγών τάσης, αντιστάσεων αλλά και πυκνωτών όπου εκπροσωπούν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του συσσωρευτή.

Τα μοντέλα ηλεκτροχημικών συσσωρευτών είναι πιο αποτελεσματικά και ακριβή από τα μοντέλα που είναι προσανατολισμένα σε κύκλωμα, όμως τα μοντέλα ισοδύναμου κυκλώματος είναι αυτά που χρησιμοποιούνται περισσότερο στη μοντελοποίηση της μπαταρίας καθώς είναι απλούστερα και πιο κατανοητά. Η βιβλιοθήκη του SimPowerSystems έχει μια εύχρηστη μαθηματική έκφραση δυναμικής συμπεριφοράς συσσωρευτών που μπορεί να αναπαριστά τόσο τη σταθερή κατάστασή τους όσο και τη δυναμική συμπεριφορά τους λαμβάνοντας υπόψη τον χρόνο απόκρισής τους. Το γενικότερο μπλοκ μπαταρίας έχει τη δυνατότητα να προσομοιώσει τέσσερις τύπους μπαταριών:

- οξέως μολύβδου
- ιόντων λιθίου
- νικελίου καδμίου
- νικελίου με μέταλλο και υδρίδιο

Λαμβάνοντας τα αποτελέσματα από τα πειράματα που έχουν γίνει ως τώρα, γνωρίζουμε ότι το μέγιστο σφάλμα στη προσομοίωση είναι έως 5% αλλά αυξάνεται σε 10% όταν έχουμε μείωση της στάθμης φόρτισης της μπαταρίας κάτω του 20%. Στην συνέχεια ακολουθεί το ισοδύναμο κύκλωμα του μοντέλου μπαταρίας:



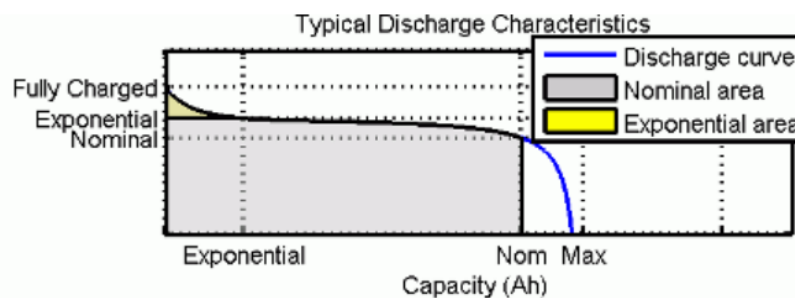
Εικόνα 4.6: Ισοδύναμο κύκλωμα μοντέλου μπαταρίας

Αρχικά η τάση μπαταρίας V_{batt} μπορεί να υπολογιστεί μέσω της τάσης ανοιχτού κυκλώματος E_{batt} , της εσωτερικής αντίστασης R_{ohm} και του ρεύματος μπαταρίας I , δηλαδή ο υπολογισμός της τάσης μπαταρίας μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$V_{batt} = E_{Batt} - R_{ohm} \cdot I$$

Η τάσης ανοιχτού κυκλώματος E_{batt} εξαρτάται από τον τύπο του συσσωρευτή και από το αν αυτός φορτίζεται ή εκφορτίζεται.

Οι παράμετροι του κυκλώματος μπορούν να τροποποιηθούν ώστε να αντιπροσωπεύουν ένα συγκεκριμένο τύπο μπαταρίας και τα χαρακτηριστικά εκφόρτισής του. Μία τυπική καμπύλη εκφόρτισης αποτελείται από τρία τμήματα τα οποία αναπαρίστανται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 4.7: Τυπική καμπύλη εκφόρτισης

Μπαταρίες Ni-MH (Νικελίου-υδριδίου μετάλλου):

Η ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέση σαν στόχο την μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά 80% έως το 2050. Για να γίνει αυτό πραγματικότητα θα πρέπει αρχικά οι οδικές μεταφορές να έχουν σχεδόν μηδενικές εκπομπές CO₂, κάτι που με τα τωρινά δεδομένα φαντάζει αδύνατον. Η λύση όπως έχουμε ξανααναφερθεί είναι η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών αλλά και η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων. Η μετάβαση στα υβριδικά οχήματα από τα συμβατικά σηματοδοτεί την χρήση νέων τεχνολογιών και την μετάβαση από τους

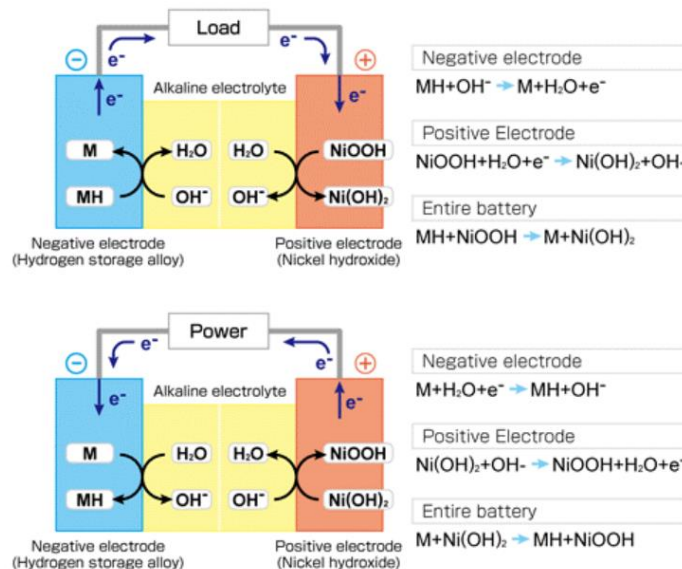
συσσωρευτές μολύβδου-οξέος σε μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου αλλά και σε μπαταρίες ιόντων λιθίου.

Η μπαταρία νικελίου-υδριδίου μετάλλου (Ni-MH) είναι ένας τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας παρόμοιος με τη νικελίου-καδμίου (Ni-Cd). Οι μπαταρίες όμως νικελίου-υδριδίου μετάλλου έχουν ακόμα μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα (1,7 φορές μεγαλύτερη από εκείνη των μπαταριών μολύβδου), δηλαδή περίπου 70Wh/kg. Τα χημικά συστατικά των μπαταριών νικελίου-υδριδίου μετάλλου είναι: Ni 17.9% κ.β., Co 4.4% κ.β. και σπάνιες γαίες 17.3% κ.β.

Τα βασικά συστατικά της μπαταρίας Ni-MH είναι:

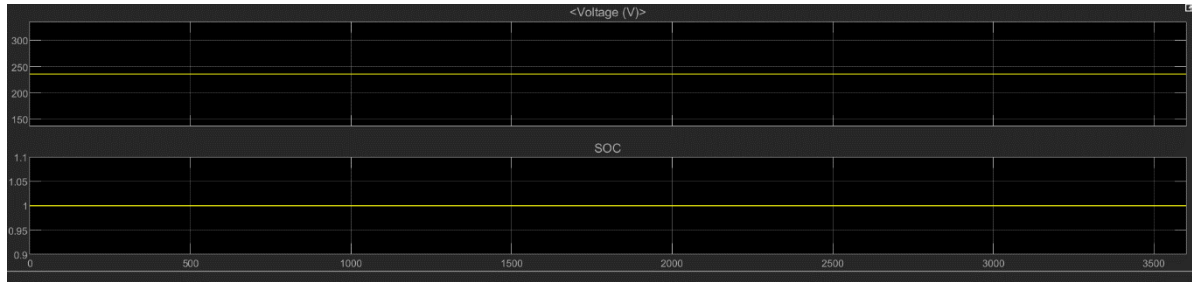
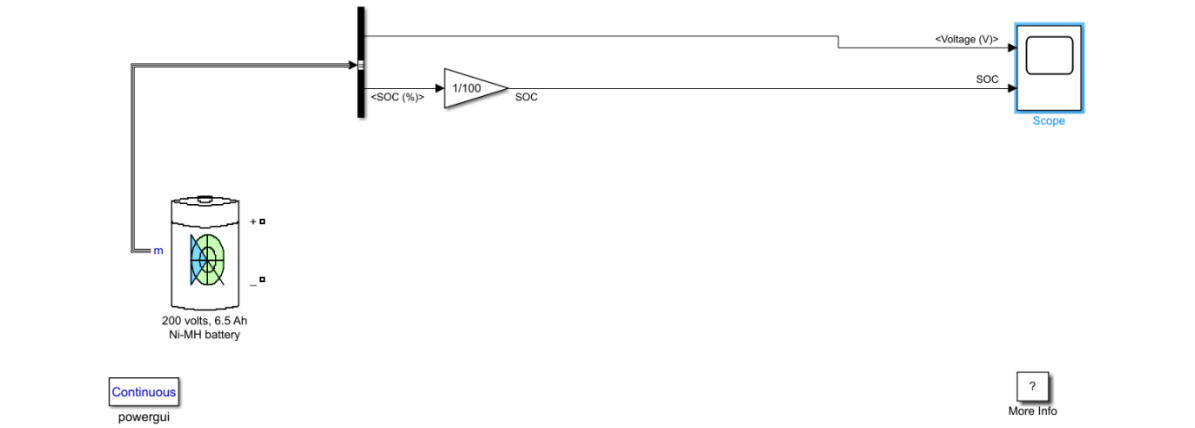
- Θετικό ηλεκτρόδιο-κάθοδος, που αποτελείται από οξύ-υδροξείδιο του Ni το οποίο ανταλλάσσει ένα πρωτόνιο στην αντίδραση φόρτισης-εκφόρτισης, με αποτέλεσμα την μικρή αλλαγή στο μέγεθος και στο υψηλό επίπεδο μηχανικής σταθερότητας που με τη σειρά του έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερο κύκλο ζωής.
- Αρνητικό ηλεκτρόδιο-άνοδος αποτελείται από ένα κράμα που έχει την δυνατότητα να απορροφά υδρογόνο. Το μέταλλο (M) στο αρνητικό ηλεκτρόδιο είναι μια διαμεταλλική ένωση που περιέχει νικέλιο.
- Ηλεκτρολύτης είναι ένα υδατικό διάλυμα υδροξειδίου του καλίου, με πολύ υψηλή αγωγιμότητα. Σύμφωνα με έρευνες γνωρίζουμε ότι η συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη παραμένει σχεδόν σταθερή κατά την διάρκεια του κύκλου φόρτισης-εκφόρτισης.

Οι μπαταρίες Ni-MH έχουν το μειονέκτημα ότι η αποδόση τους επηρεάζεται αρνητικά σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα πλεονεκτήματά τους είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής, η αξιοπιστία τους, ενώ το κόστος τους είναι μικρότερο από εκείνο των μπαταριών λιθίου.

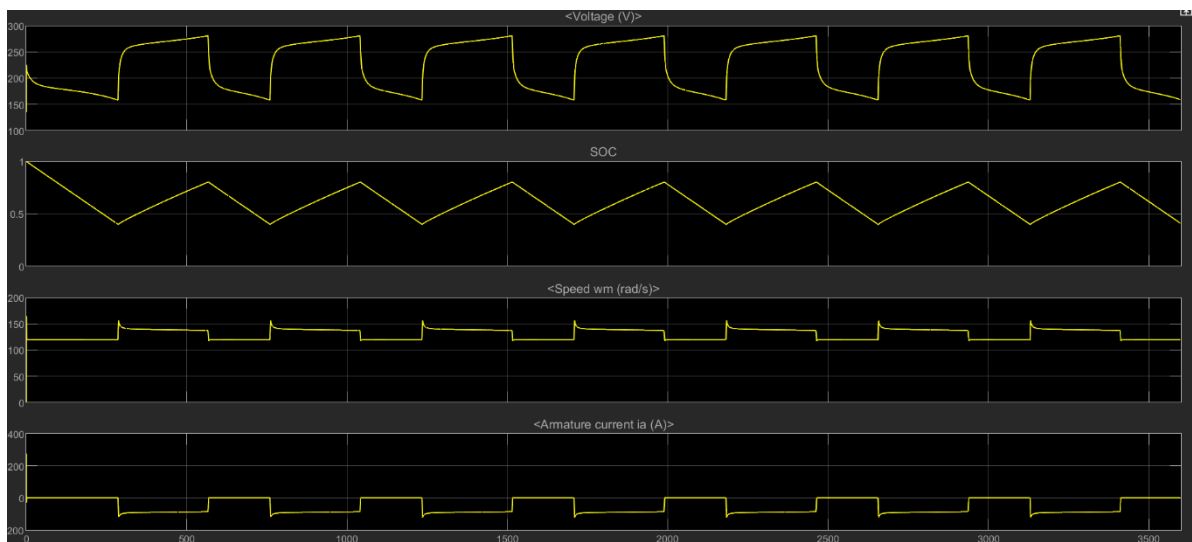
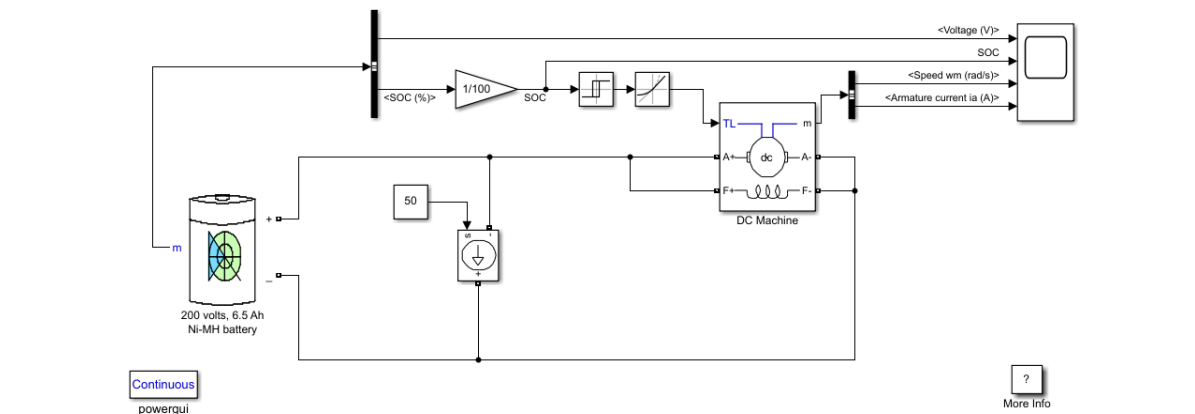


Εικόνα 4.8: Μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου

Η υλοποίηση της μπαταρίας χωρίς φορτίο μαζί με τις κυματομορφές της τάσης και της κατάστασης φόρτισης, παρουσιάζονται παρακάτω:



Η υλοποίηση της μπαταρίας με φορτίο έναν κινητήρα Σ.Ρ. μαζί με τις κυματομορφές της τάσης και της κατάστασης φόρτισής της μαζί με τις κυματομορφές της ταχύτητας και του ρεύματος επαγωγικού τυμπάνου του κινητήρα Σ.Ρ. παρουσιάζονται παρακάτω:



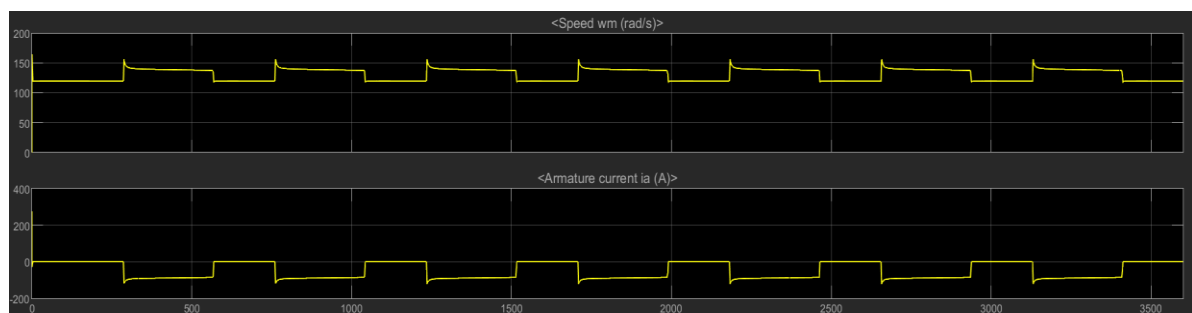
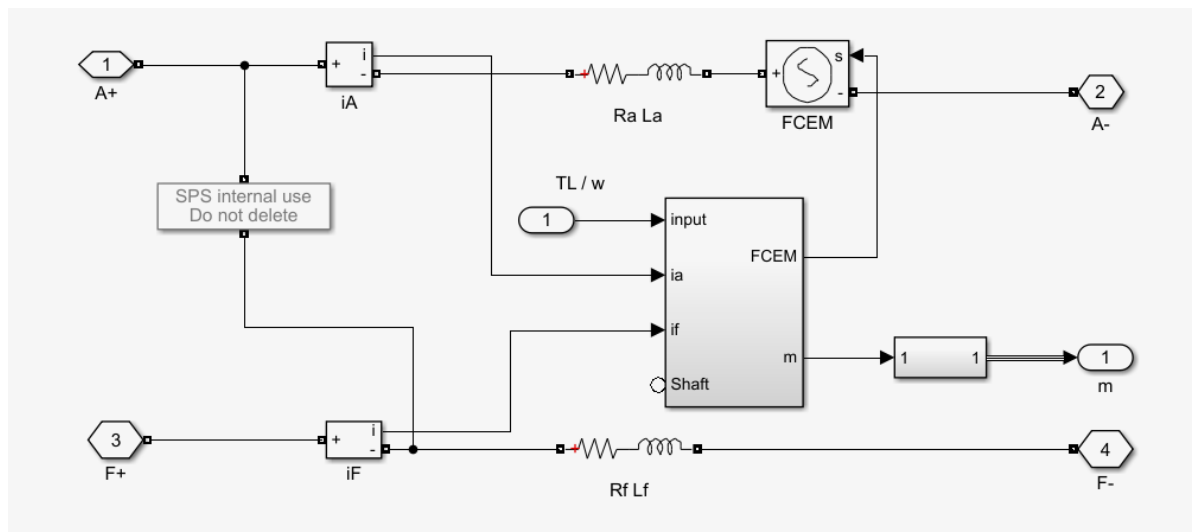
Οι έξοδοι του κυκλώματος που μοντελοποιήσαμε για την συγκεκριμένου τύπου μπαταρία είναι οι εξής:

1. Τάση μπαταρίας.
2. Κατάσταση φόρτισης μπαταρίας.
3. Ταχύτητα του κινητήρα
4. Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος τυμπάνου

4.5. Ηλεκτρικός Κινητήρας (Electric Motor)

Για να μετατραπεί η ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική χρησιμοποιούμε ηλεκτρικούς κινητήρες. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες μπορούν να λάβουν μέρος σε πολλά τμήματα μέσα σε ένα πλοίο δηλαδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόωση του πλοίου, για αντλίες, ανεμιστήρες, βαρούλκα κ.α. Υπάρχουν αρκετά είδη ηλεκτρικών κινητήρων στην αγορά όπως, κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC), επαγωγικούς κινητήρες (AC), κινητήρες μόνιμου μαγνήτη και κινητήρες με υπεραγωγούς υψηλής θερμοκρασίας. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες E.P. ή Σ.Ρ., μπορούν να οδηγηθούν με κατάλληλα συστήματα οδήγησης E.P. ή Σ.Ρ. αντίστοιχα, προκειμένου να ελέγχουμε τη λειτουργία τους.

Κινητήρας Σ.Ρ.:

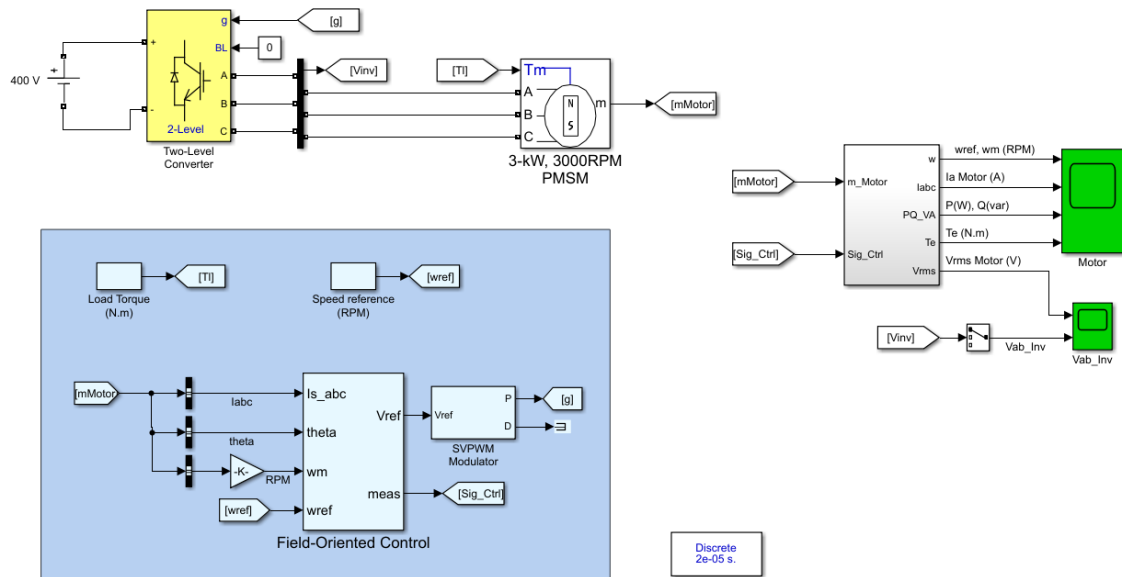


Για το κινητήρα συνεχούς ρεύματος μοντελοποιήσαμε το παραπάνω μοντέλο και οι έξοδοι του κινητήρα είναι οι εξής:

1. Ταχύτητα.
2. Ρεύμα επαγωγικού τυμπάνου.

Σύγχρονος Κινητήρας Μόνιμου Μαγνήτη (PMSM) 3-kW, 3000RPM:

Για τον σύγχρονο κινητήρα μόνιμου μαγνήτη μοντελοποιήσαμε το παρακάτω μοντέλο αλλά και εφαρμόσαμε μια παραμετροποίηση του συγκεκριμένου μοντέλου η οποία παρουσιάζεται αναλυτικά παρακάτω:

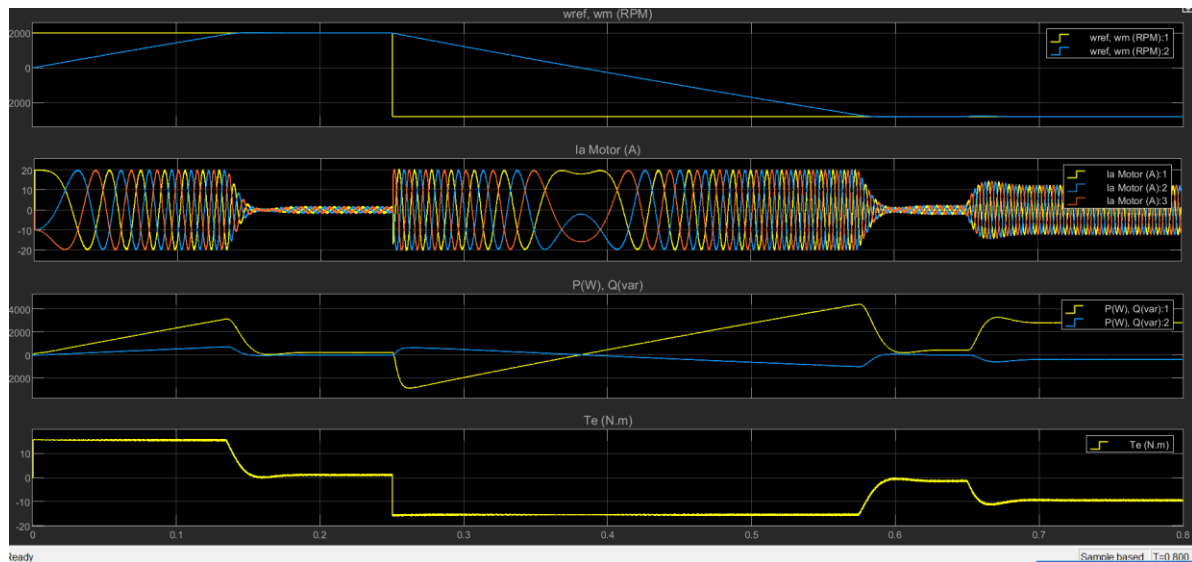


Επεξήγηση Συστήματος:

Μία γραμμή DC, που διαμορφώνεται ως ιδανική πηγή DC 400 V, συνδέεται με έναν τριφασικό μετατροπέα δύο επιπέδων. Αυτός ο μετατροπέας παράγει τις κατάλληλες τριφασικές τάσεις για τη ρύθμιση ταχύτητας του κινητήρα PMSM 3 kW, 3000 rpm. Ο μετατροπέας ελέγχεται από έναν ελεγκτή FOC που παράγει τις αναφορές τάσης σε έναν διαμορφωτή PWM διανύσματος κατάστασης (διανυσματικός έλεγχος).

Ο έλεγχος προσανατολισμένου πεδίου (Field-Oriented Control, FOC) είναι ένα σύστημα ελέγχου στο οποίο χρησιμοποιείται ένα πλαίσιο αναφοράς συντεταγμένων d-q που είναι κλειδωμένο στο διάνυσμα κατάστασης της μαγνητικής ροής του κινητήρα για την επίτευξη αποσύζευξης μεταξύ της μαγνητικής ροής του κινητήρα και της ροπής του. Κατά συνέπεια, μπορούν να ελεγχθούν ξεχωριστά από τα ρεύματα τα του στάτη I_d και I_q , αντίστοιχα.

Η ροπή είναι στο μέγιστο όταν η μαγνητική ροή που παράγεται από τους μαγνήτες είναι κάθετη στη ροή του στάτη που παράγεται από τα ρεύματά του. Στο σύστημα ελέγχου προσανατολισμένου πεδίου, η γωνία μεταξύ αυτών των δύο ροών διατηρείται στις 90° για την παραγωγή μέγιστης ροπής.



Επεξήγηση μεγεθών γραφικών παραστάσεων:

Εκτελώντας την προσομοίωση και παρατηρώντας τις κυματομορφές παρατηρούμε ότι:

- Ο κινητήρας φτάνει γρήγορα στην ταχύτητα αναφοράς w_{ref} (κίτρινο χρώμα) στις 2000 RPM. Μπορούμε να παρατηρήσουμε την εξέλιξη της ταχύτητα περιστροφής w_m (μπλε χρώμα).
- Στα 0,25 s, η περιστροφή του κινητήρα αντιστρέφεται ρυθμίζοντας την αναφορά ταχύτητας στις -2800 RPM. Για να τηρηθεί αυτό το νέο καθοριζόμενο σημείο, το σύστημα ελέγχου παράγει μια μεγάλη αρνητική ροπή.
- Τα ρεύματα τροφοδοσίας I_a , I_b , I_c του στάτη του τριφασικού κινητήρα, τα οποία παρέχονται σε αυτόν από την έξοδο του τριφασικού αντιστροφέα, παρουσιάζουν:
 - μία τιμή 40 A από κορυφή σε κορυφή κατά τα χρονικά διαστήματα προσέγγισης των τιμών της ταχύτητας αναφοράς: 0s -0,14s και 0,25s – 0,58s
 - μία τιμή 2,4 A από κορυφή σε κορυφή κατά το χρονικό διάστημα ταύτισης των τιμών της ταχύτητας αναφοράς και του κινητήρα: 0,14s – 0,249s.
 - μία τιμή 3,4 A από κορυφή σε κορυφή κατά το χρονικό διάστημα ταύτισης των τιμών της ταχύτητας αναφοράς και του κινητήρα: 0,58s – 0,64s.
 - μία τιμή 12 - 15 A από κορυφή σε κορυφή κατά το χρονικό διάστημα ταύτισης των τιμών της ταχύτητας αναφοράς και του κινητήρα, αλλά αλλαγής της ροπής φορτίου που πρέπει να εξυπηρετήσει ο κινητήρας: 0,65s – 0,8s.

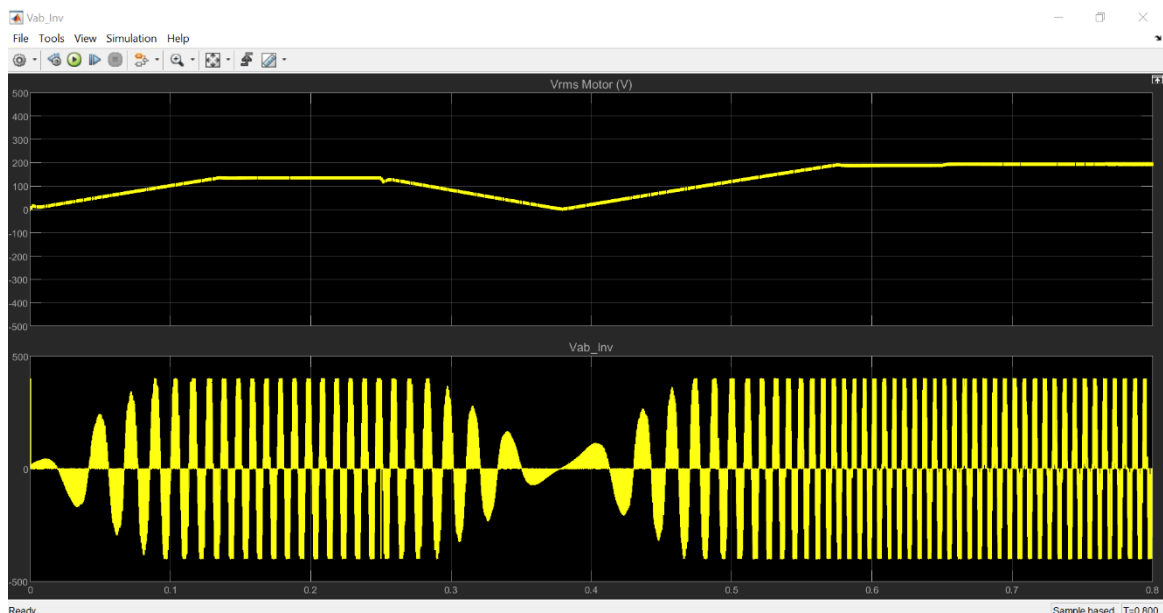
Επιπροσθέτως, την χρονική στιγμή 0,383s, παρατηρούμε την διαδικασία αλλαγής της σειράς διαδοχής των ρευμάτων τροφοδοσίας, για να αλλάξει η φορά περιστροφής του κινητήρα.

- Παρατηρούμε ότι η πραγματική ισχύς P (κίτρινο χρώμα) μεταφέρθηκε πίσω στην πηγή DC κατά τη διάρκεια της επιβράδυνσης.

- Επίσης έχουμε ροή αέργου ισχύος Q (μπλέ χρώμα) προς την πηγή κατά τα διαστήματα 0,4s-0,58s και 0,65s - 0,8s, όπου η πραγματική ισχύς (κίτρινο χρώμα) αυξάνεται.
- Στα 0,65 s, εφαρμόζεται αρνητική ροπή φορτίου $-8 \text{ N}\cdot\text{m}$ στον κινητήρα. Προκειμένου να διατηρηθεί η ταχύτητα του κινητήρα στις -2800 RPM , το σύστημα ελέγχου αλλάζει το ρεύμα αναφοράς για να παράγει αρνητική ροπή περίπου $-10 \text{ N}\cdot\text{m}$.

Οι έξοδοι του συγκεκριμένου μοντέλου του σύγχρονου κινητήρα μόνιμου μαγνήτη (PMSM) είναι οι εξής:

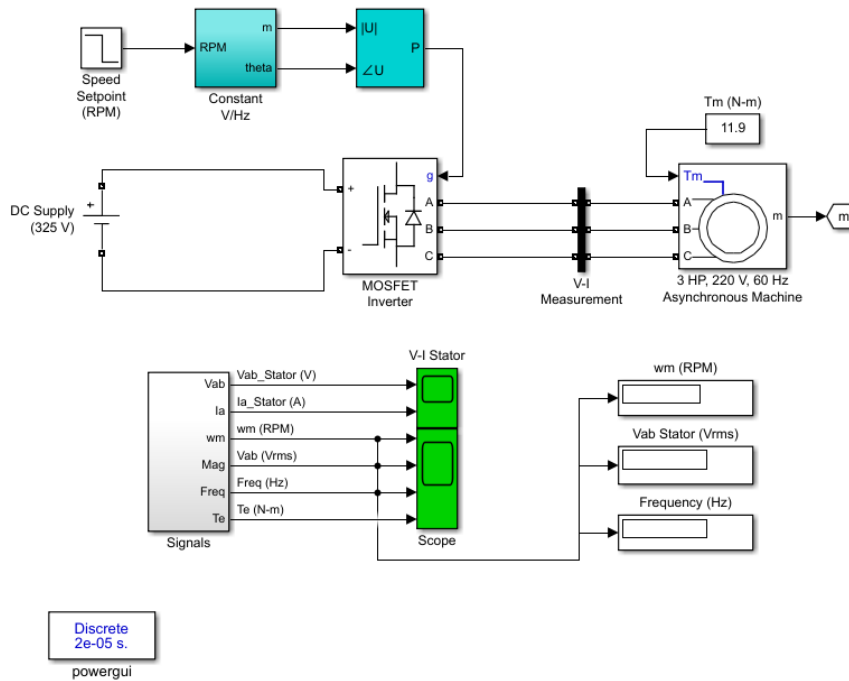
1. Ταχύτητα αναφοράς.
2. Ρεύμα τροφοδοσίας κινητήρα.
3. Πραγματική και άεργος ισχύς.
4. Ροπή.



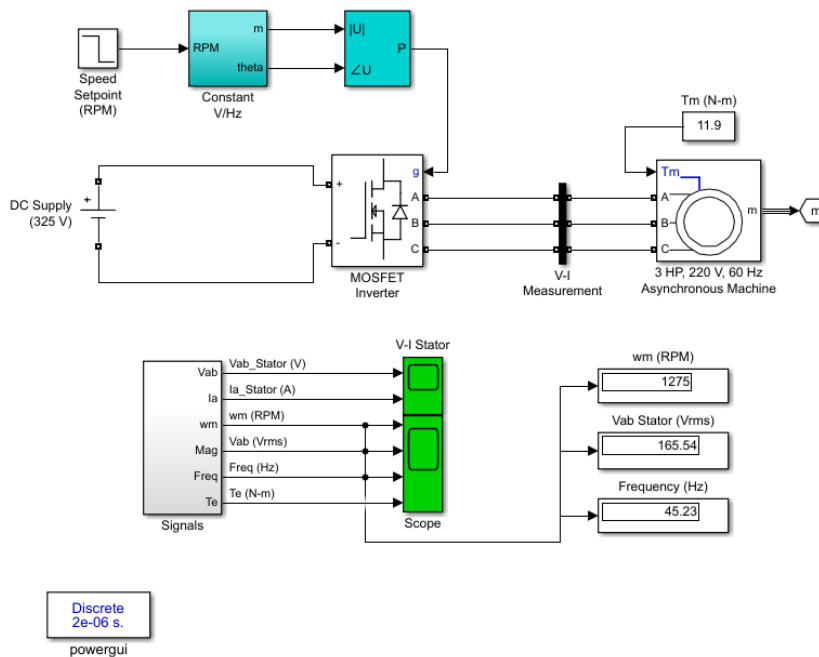
Στο συγκεκριμένο scope του μοντέλου μας του σύγχρονου κινητήρα μόνιμου μαγνήτη παρουσιάζονται οι εξής έξοδοι:

1. Ενεργός τάση τροφοδοσίας κινητήρα, η οποία αυξάνεται από τα 0 V στα 140 V περίπου, μετά μηδενίζεται στο χρονικό σημείο της αλλαγής φοράς περιστροφής και κατόπιν αυξάνεται στα 200 V.
2. Πολική τάση αντιστροφή με πλάτος 480 V περίπου.

Ασύγχρονος (Επαγωγικός) Κινητήρας:



Κατά την ώρα προσομοίωσης σε πραγματικό χρόνο (real time), εμφανίζονται στα όργανα μετρήσεων οι παρακάτω μετρήσεις:



Επεξήγηση Συστήματος:

Στο συγκεκριμένο μοντέλο Ασύγχρονου (Επαγωγικού) Κινητήρα μπορούμε να βάζουμε τιμές σε πραγματικό χρόνο στο κινητήρα και να μας βγάξει τις αντίστοιχες εξόδους προς μελέτη.

Ένας τριφασικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου κλωβού με ονομαστικά μεγέθη 3 HP, 220 V, 60 Hz, 1725 rpm τροφοδοτείται από έναν τριφασικό αντιστροφέα με MOSFET συνδεδεμένο με πηγή τάσης DC 325 V.

Ο μετατροπέας μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας το μπλοκ "Universal Bridge»και τον κινητήρα από το μπλοκ "Asynchronous Machine".

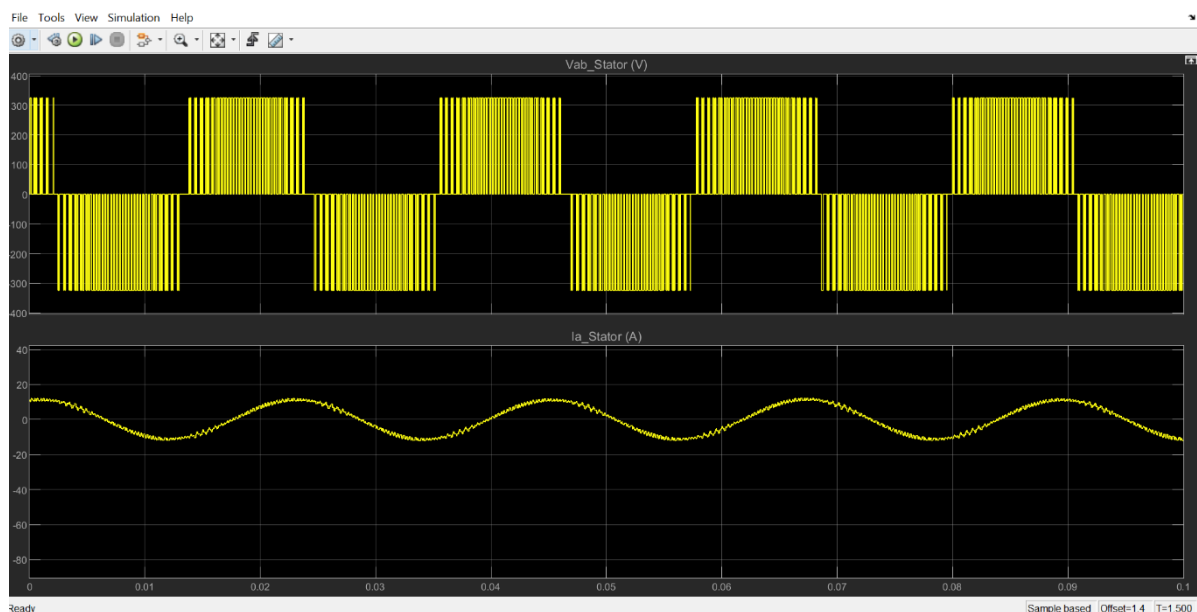
Η επαγωγή σκέδασης του στάτη L_{ls} έχει ρυθμιστεί στο διπλάσιο της πραγματικής τιμής της για να προσομοιώσει την επίδραση ενός πηνίου εξομάλυνσης που τοποθετείται μεταξύ του μετατροπέα και του κινητήρα. Η ροπή φορτίου που εφαρμόζεται στον άξονα του κινητήρα είναι σταθερή και ορίζεται στην ονομαστική του τιμή $11,9 \text{ N}\cdot\text{m}$.

Οι παλμοί έναυσης στον μετατροπέα δημιουργούνται από το μπλοκ "Space-Vector PWM modulator»της βιβλιοθήκης SPS.

Η συχνότητα κερματισμού ορίζεται στα 1980 Hz και το διάνυσμα αναφοράς εισόδου στο "Magnitude-Angle".

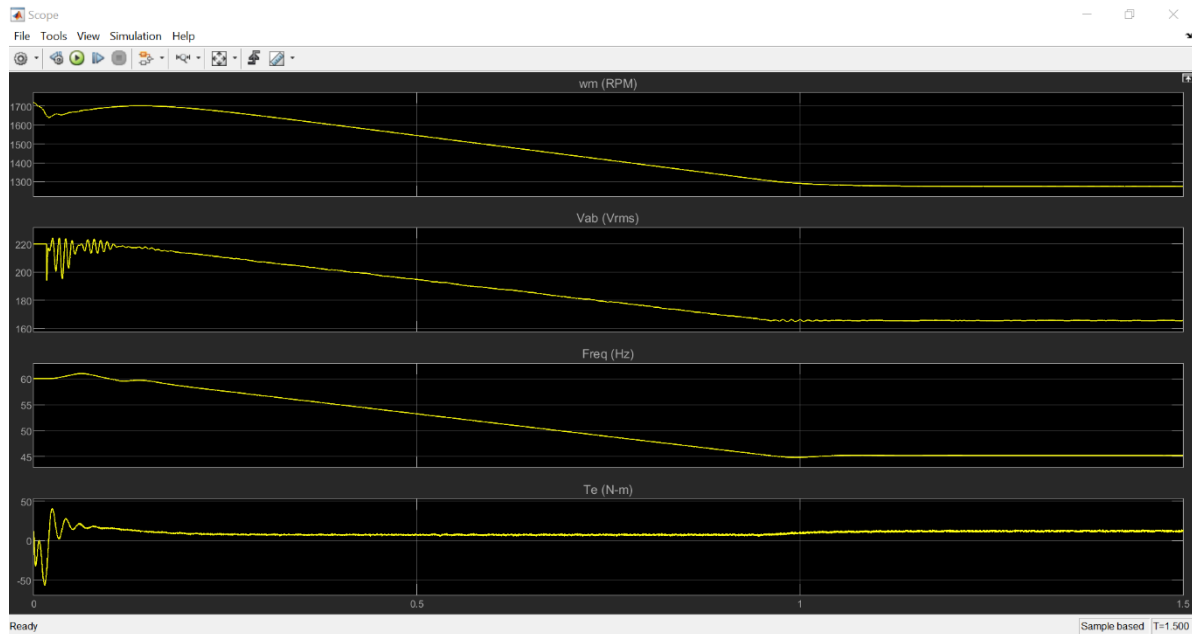
Ο έλεγχος ταχύτητας του κινητήρα πραγματοποιείται από το μπλοκ "Constant V/Hz".

Το μέγεθος και η συχνότητα των τάσεων του στάτη καθορίζονται με βάση το σημείο ρύθμισης ταχύτητας. Μεταβάλλοντας το μέγεθος των τάσεων του στάτη σε αναλογία με τη συχνότητα, η μαγνητική ροή του στάτη διατηρείται σταθερή.



Μετά τη μοντελοποίηση του παραπάνω μοντέλου του ασύγχρονου επαγωγικού κινητήρα οι έξοδοι για το συγκεκριμένο scope είναι οι εξής:

1. Τάση στάτη (εισόδου) κινητήρα
2. Ρεύμα στάτη (εισόδου) κινητήρα.



Μετά τη μοντελοποίηση του παραπάνω μοντέλου του ασύγχρονου επαγωγικού κινητήρα οι έξοδοι για το συγκεκριμένο scope είναι οι εξής:

1. Ταχύτητα κινητήρα.
2. Τάση.
3. Συχνότητα.
4. Ροπή. [27]

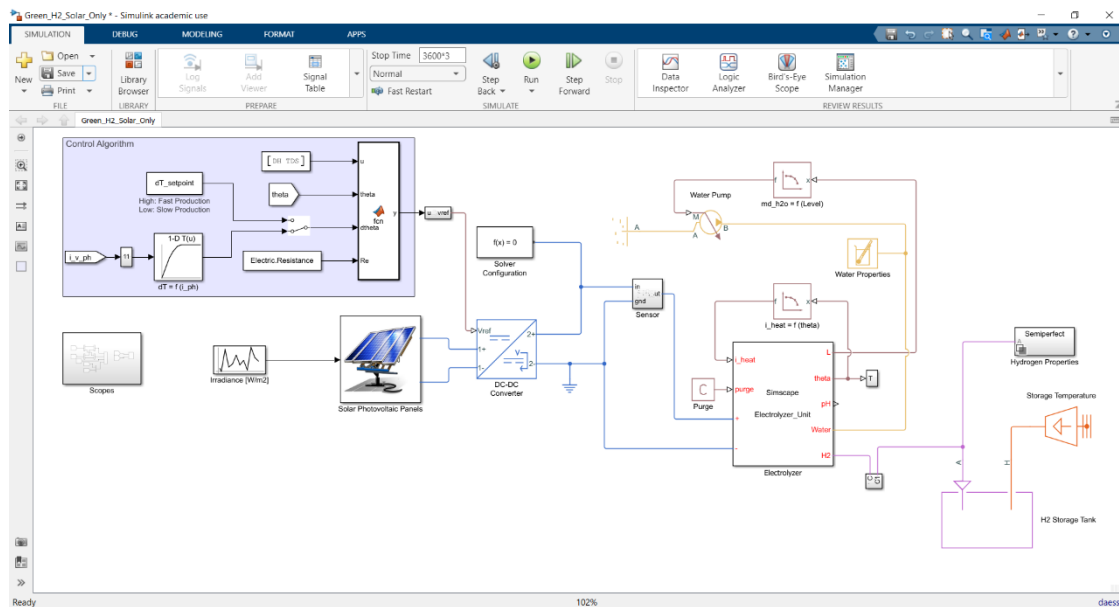
Επεξήγηση των γραφικών παραστάσεων:

Ξεκινώντας την προσομοίωση, δεδομένου ότι οι αρχικές συνθήκες φορτώθηκαν αυτόματα, η προσομοίωση θα πρέπει να ξεκινήσει σε σταθερή κατάσταση λειτουργίας.

- Η αρχική ταχύτητα του κινητήρα πρέπει να είναι 1725 RPM και οι ενεργές (rms) τιμές των τάσεων του στάτη πρέπει να είναι 220V στα 60Hz.
- Στα 0,1s, το σημείο ρύθμισης ταχύτητας αλλάζει από 1725 σε 1300 RPM (χρονικό σημείο 1s) και μπορούμε να παρατηρήσουμε τη δυναμική του συστήματος κοιτάζοντας μέσα στον παλμογράφο Scope 1.
- Όταν ο κινητήρας φτάσει σε σταθερή ταχύτητα 1275 RPM (χρονικό σημείο 1,1s), η ενεργός (rms) τιμή τάσης του στάτη είναι κάτω από 165,8V και η συχνότητα στα 45,2 Hz.
- Οι κυματομορφές της πολικής τάσης του στάτη (φάσεις A-B) και το ρεύμα της φάσης A μπορούν να παρατηρηθεί στον παλμογράφο "V-I Stator".

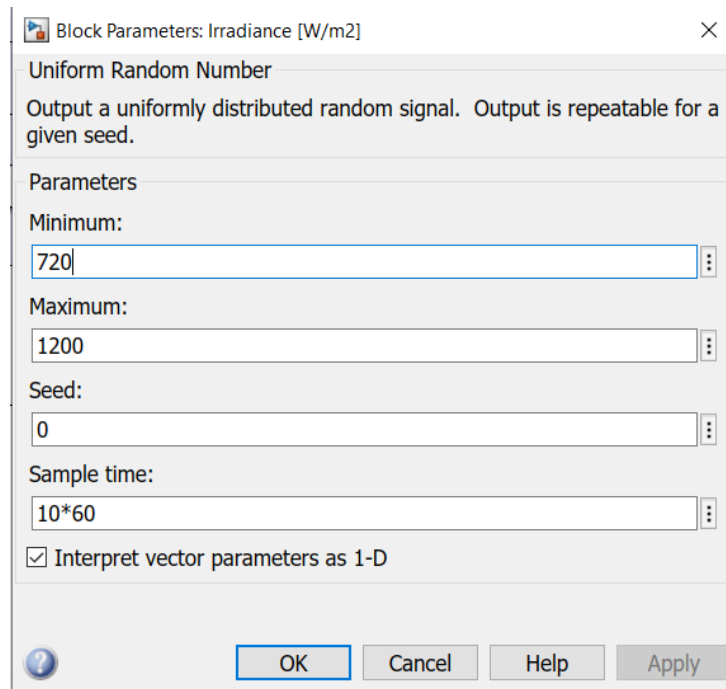
1^η Μελέτη Περίπτωσης: Παροχή ενέργειας μέσω ΦΒ συστήματος για την παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης νερού

Παραγωγή υδρογόνου με ηλεκτρόλυση νερού μέσω ηλεκτρικής ενέργειας από ΦΒ

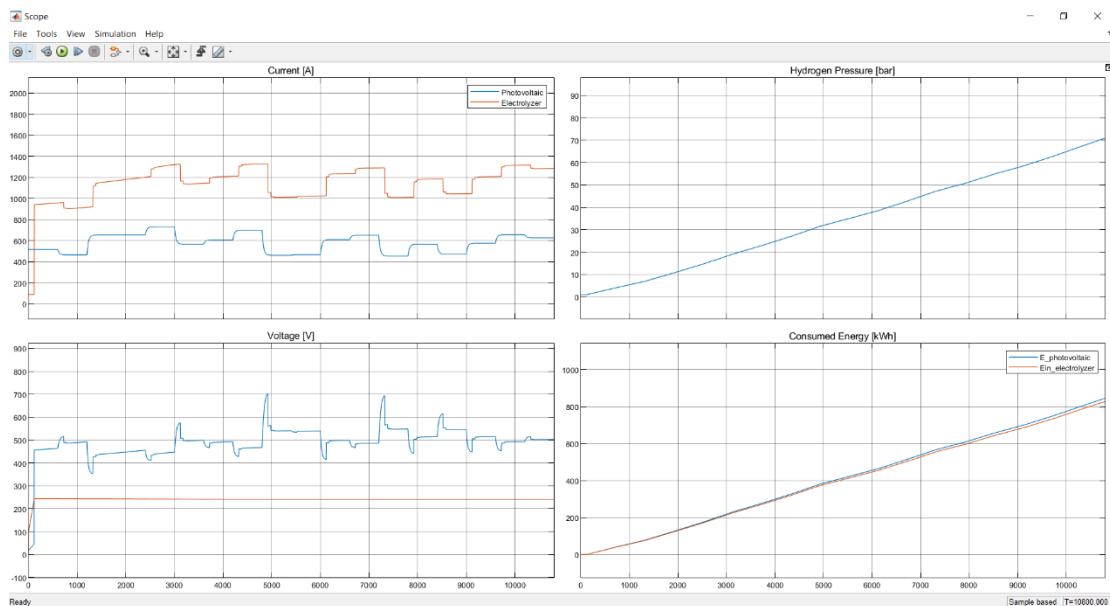


Επεξήγηση Συστήματος:

Αυτό είναι ένα μοντέλο ενός dc μικροδικτύου που λειτουργεί αυτόνομα ή νησιδοποιημένα (islanded mode of operation) και που παρέχει ενέργεια σε ένα ηλεκτρολύτη χρησιμοποιώντας μια ηλιακή συστοιχία. Αυτό το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών της παραγωγής πράσινου υδρογόνου για μια περίοδο επτά ημερών αποκλειστικά με ισχύ από ηλιακή συστοιχία. Το μοντέλο περιλαμβάνει τομείς ηλεκτρικού, θερμικού υγρού και θερμικού αερίου. Υπάρχει η δυνατότητα επιλογής του τρόπου ελέγχου μέσω χειροκίνητου διακόπτη στο πεδίο Control Algorithm, για να επιλέξουμε το τρόπο παραγωγής της τάσης αναφοράς του μετατροπέα Σ.Ρ. – Σ.Ρ. λαμβάνοντας υπόψη, είτε στοιχεία από την χαρακτηριστική I-V του φωτοβολταϊκού ή την επιθυμητή ταχύτητα παραγωγής υδρογόνου (Fast ή Slow), συνεκτιμώντας παραμέτρους όπως η ηλεκτρική αντίσταση (Electric Resistance) η εντροπία (TDS), η ενθαλπία (TH) και η θερμοκρασία αναφοράς (theta) σε βαθμούς Kelvin. Ο αισθητήρας στην έξοδο του μετατροπέα ανιχνεύει την ύπαρξη τάσης από αυτόν και εφόσον υπάρχει διοχετεύεται στην συσκευή ηλεκτρόλυσης (electrolyzer). Στο παρακάτω μπλοκ φαίνεται η παραμετρομετροποίηση της ακτινοβολίας που προσπίπτει στη φωτοβολταϊκή συστοιχία.



Οι γραφικές που εξάγει αυτό το μοντέλο είναι οι εξής:

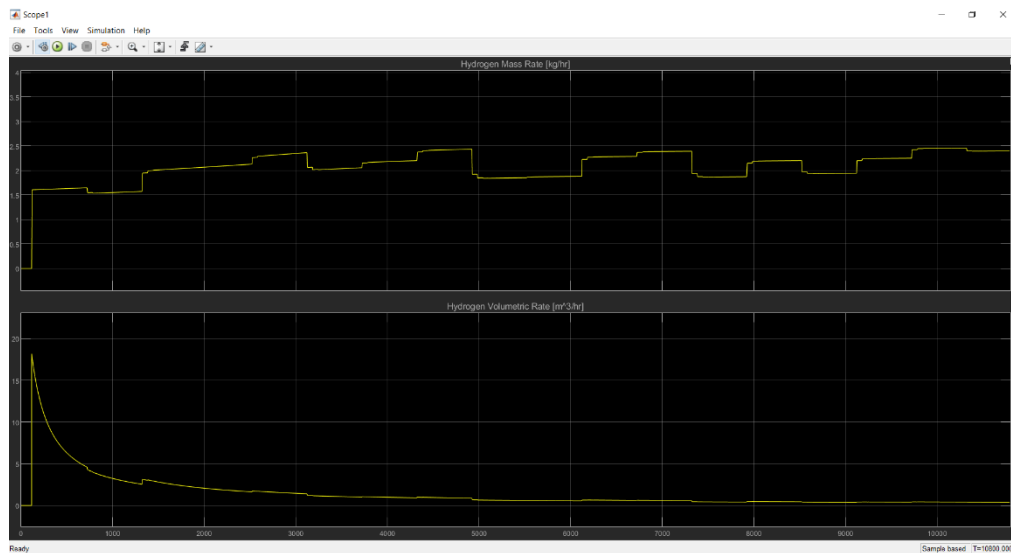


Στην περίπτωση αυτήν τα scope του μοντέλου εξάγουν το ρεύμα και την τάση του φωτοβολταϊκού συστήματος αλλά και του electrolyzer, την πίεση του υδρογόνου αλλά και την καταναλισκόμενη ενέργεια.

Επεξήγηση Γραφικών Παραστάσεων:

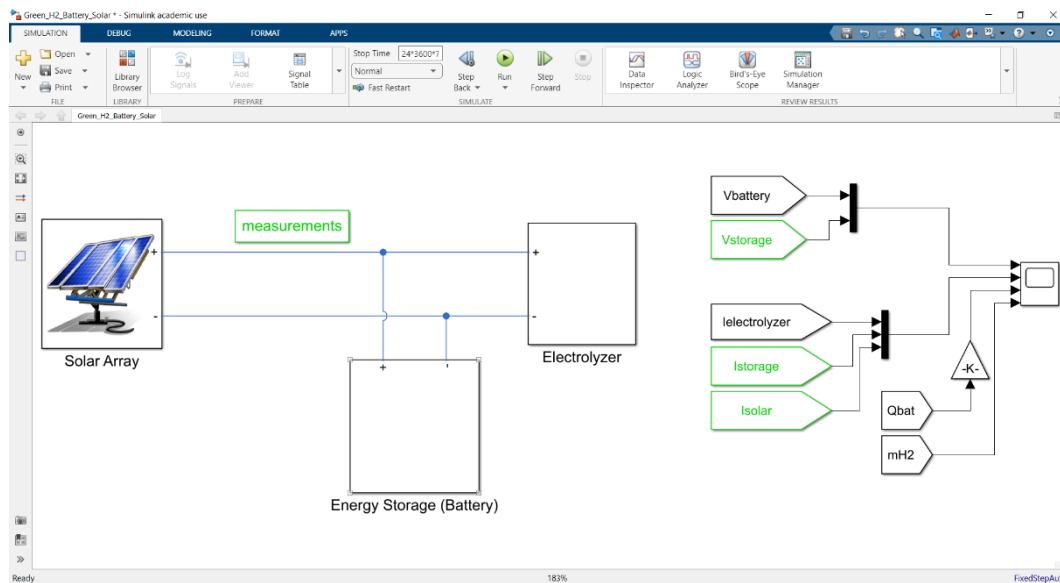
- Το παραγόμενο ρεύμα από τα φωτοβολταϊκά χρειάζεται να μετατραπεί σε υψηλότερη στάθμη για να είναι κατάλληλο για το σύστημα ηλεκτρόλυσης κάτι το οποίο γίνεται με τη βοήθεια του μετατροπέα Σ.Ρ-Σ.Ρ.

- Η τάση που παρέχεται στην συσκευή ηλεκτρόλυσης είναι σταθερή χωρίς καμία διακύμανση.
- Η καταναλισκόμενη ενέργεια από τη συσκευή ηλεκτρόλυσης συμπίπτει σχεδόν με τη παραγόμενη από το σύστημα φωτοβολταϊκών.
- Η πίεση του υδρογόνου κατά την αποθήκευση του αυξάνεται.
- Ο ρυθμός παραγωγής μάζας υδρογόνου σε kg/hr παρουσιάζει μία αξιοσημείωτη σταθερότητα μεταξύ 2-2.5 kg/hr και ο ογκομετρικός ρυθμός παραγωγής υδρογόνου μετά την αρχική κορύφωσή του σταθεροποιείται στα 1-1.5 m³ /hr
- Η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας φθίνει σταδιακά όσο περνάει ο χρόνος αφού προσφέρει την ενέργεια της στον electrolyzer για τη παραγωγή του υδρογόνου, η οποία (παραγωγή υδρογόνου) με τη βοήθεια αυτή αυξάνεται με σταθερό ρυθμό.



Αυτό το score εξάγει τον ρυθμό παραγωγής μάζας υδρογόνου αλλά και τον ογκομετρικό ρυθμό παραγωγής υδρογόνου.

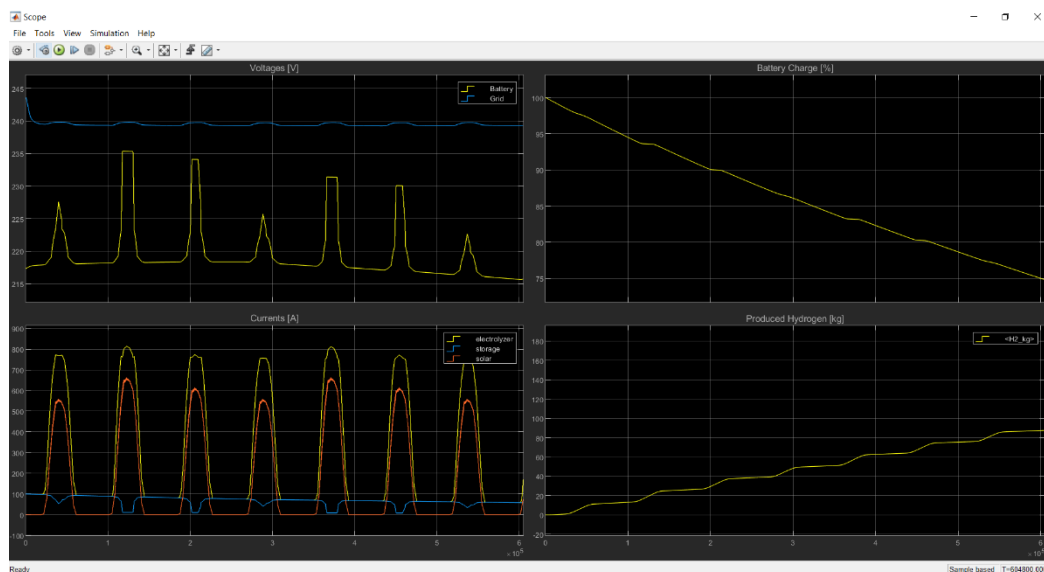
2^η Μελέτη Περίπτωσης: Παροχή ενέργειας μέσω ΦΒ συστήματος και συστήματος αποθήκευσης ενέργειας για την παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης νερού.



Επεξήγηση Συστήματος:

Αυτό είναι ένα μοντέλο ενός dc μικροδικτύου που λειτουργεί αυτόνομα ή νησιδοποιημένα (islanded mode of operation) και που παρέχει ενέργεια σε ένα ηλεκτρολύτη χρησιμοποιώντας μια ηλιακή συστοιχία και ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Αυτό το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών της παραγωγής πράσινου υδρογόνου για μια περίοδο επτά ημερών αποκλειστικά με ισχύ από ηλιακή συστοιχία ή από συνδυασμό ηλιακής συστοιχίας και συστήματος αποθήκευσης ενέργειας. Το μοντέλο περιλαμβάνει τομείς ηλεκτρικού, θερμικού υγρού και θερμικού αερίου.

Οι γραφικές που εξάγει αυτό το μοντέλο είναι οι εξής:

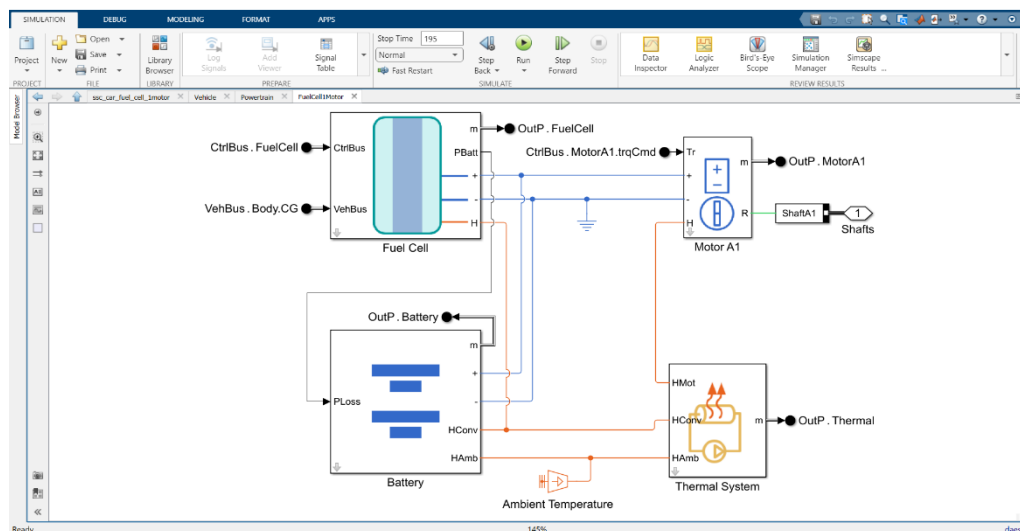


Το συγκεκριμένο score αυτού του μοντέλου εξάγει τάσεις για την μπαταρία και το δίκτυο, ρεύματα για το electrolyzer για το σύστημα φωτοβολταϊκών αλλά και το ρεύμα του συστήματος αποθήκευσης. Επίσης εξάγει την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας αλλά και τη ποσότητα του παραγόμενου υδρογόνου.

Επεξήγηση Γραφικών Παραστάσεων:

- Η ποσότητα παραγωγής υδρογόνου κατά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης προσεγγίζει τα 90 kg
- Το ρεύμα που παρέχεται στη συσκευή ηλεκτρόλυσης (κίτρινη) παρατηρούμε ότι προκύπτει από τον συνδυασμό των ρευμάτων του συστήματος αποθήκευσης (μπλε) και του συστήματος φωτοβολταϊκών (πορτοκαλί).
- Η τάση του δικτύου τροφοδότησης (grid-μπλε) της συσκευής ηλεκτρόλυσης παρατηρούμε ότι ενισχύεται από τη τάση του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας όταν υπάρχουν πτωτικές τάσεις με αποτέλεσμα την τροφοδότηση του συστήματος ηλεκτρόλυσης με τάση όσο το δυνατότετο σταθερότερης τιμής.
- Η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας φθίνει σταδιακά όσο περνάει ο χρόνος αφού προσφέρει την ενέργεια της στον electrolyzer για τη παραγωγή του υδρογόνου, η οποία (παραγωγή υδρογόνου) με τη βοήθεια αυτή αυξάνεται με σταθερό ρυθμό.

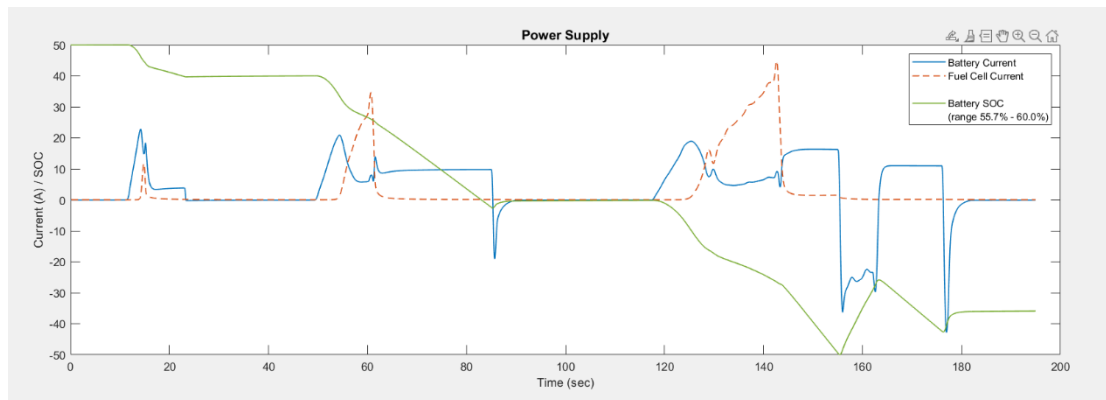
Προσομοίωση Μοντέλου Ηλεκτροπροωθούμενου Πλοίου



Επεξήγηση Συστήματος:

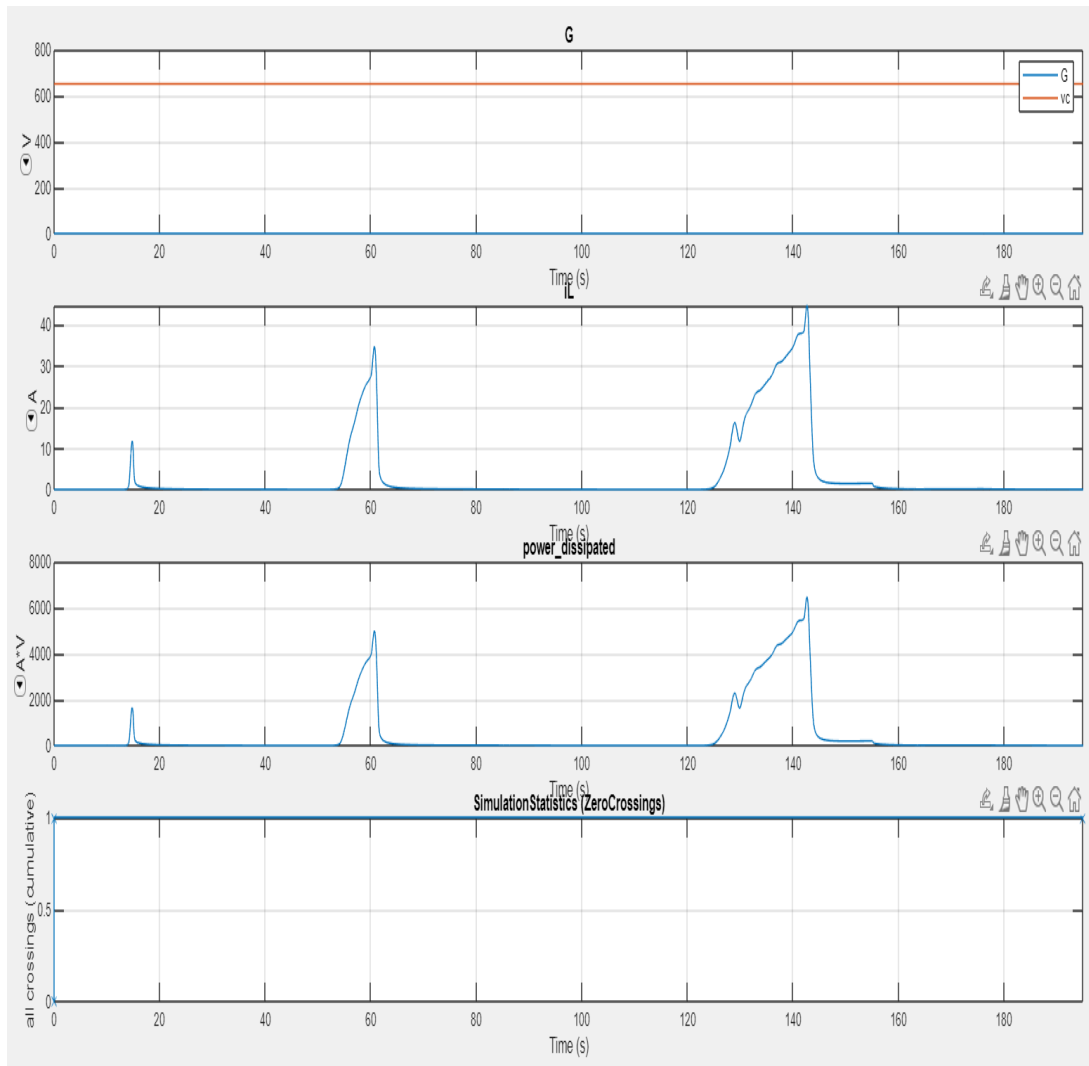
Αυτό το μοντέλο δείχνει μια συστοιχία κυψελών καυσίμου παράλληλα συνδεδεμένη με μια μπαταρία η οποία τροφοδοτεί έναν ηλεκτρικό κινητήρα πρόωσης του πλοίου. Η κυψέλη καυσίμου διαμορφώνεται χρησιμοποιώντας έναν προσαρμοσμένο τομέα για την παρακολούθηση των διαφόρων ειδών αερίων που παρουσιάζονται κατά την λειτουργία της κυψέλης καυσίμου.

Οι γραφικές που εξάγει το συγκεκριμένο μοντέλο προσομοίωσης είναι οι εξής:

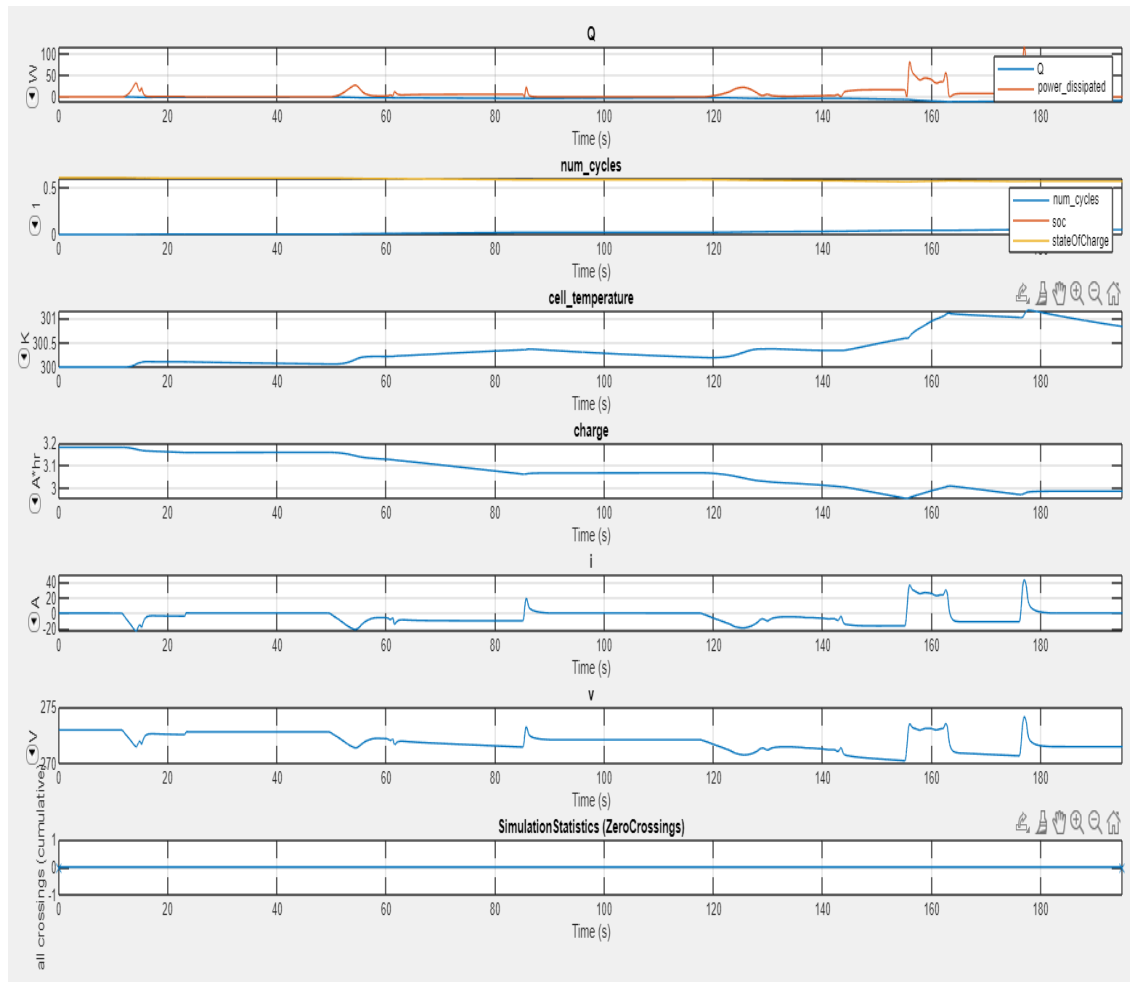


Το συγκεκριμένο scope εξάγει την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας (SOC - πράσινη) και τα ρεύματα της μπαταρίας (μπλε) και της κυψέλης καυσίμου (πορτοκαλί). Παρατηρούμε ότι όταν έχουμε μικρή μείωση της κατάστασης φόρτισης της μπαταρίας το ρεύμα της αυξάνεται όπως είναι φυσιολογικό και είναι μικρότερο αυτό της κυψέλης καυσίμου, ενώ όταν είναι μεγαλύτερης έκτασης η μείωση της SOC συνεισφέρει περισσότερο η κυψέλη καυσίμου με εξάρσεις ρεύματος προκειμένου να αντισταθμίσει την αδυναμία της μπαταρίας και να σταθεροποιήσει την κατάσταση.

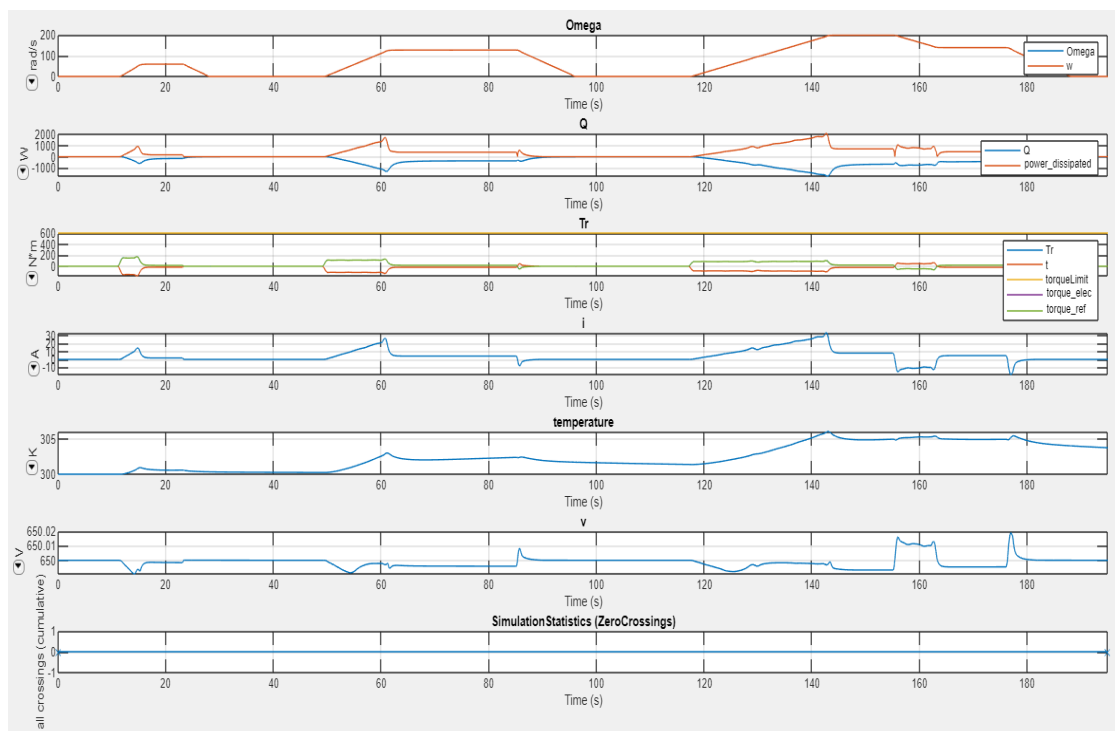
Στην συνέχεια εξάγονται κάποιες γραφικές για την κυψέλη καυσίμου:



Στην συνέχεια εξάγονται κάποιες γραφικές για τον συσσωρευτή:



Στην συνέχεια εξάγονται κάποιες γραφικές για τον ηλεκτρικό κινητήρα:



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Παρατηρούμε για την μελέτη ενός **Μοντέλου Ηλεκτροπροωθούμενου Πλοίου** ότι:

- Στην παροχή ισχύος όταν φθίνει η κατάσταση φόρτισης του συστήματος αποθήκευσης (γκρι) παρέχεται ενέργεια από τη κυψέλη καυσίμου έτσι ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα στη τροφοδότηση του συστήματος πρόωσης (Ηλεκτρικός κινητήρας DC).
- Από τις γραφικές είναι αξιοσημείωτη η σταθερότητα της παρεχόμενης τάσης από την κυψέλη καυσίμου.
- Η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας μειώνεται σταδιακά ενώ η θερμοκρασία των στοιχείων της αυξάνεται.
- Η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα μειώνεται όταν ελαττώνεται το ρεύμα τροφοδοσίας του.
- Η θερμοκρασία του κινητήρα αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου και η ροπή του αυξάνεται όποτε υπάρχει αύξηση του ρεύματος τροφοδοσίας του. Επίσης κατά τα διαστήματα αύξησης του ρεύματος παρουσιάζεται και αύξηση καταναλισκόμενης ισχύος.

4.7. Ναυτιλιακά Project εγκατάστασης κυψελών καυσίμου.

Zero Emission Fast Ferry project:

Η εταιρεία με τις περισσότερες αρμοδιότητες στο εν λόγω project είναι η Selfa Arctic ενώ θα συμμετάσχουν και οι εταιρείες Hyon AS, Norled AS. Μάλιστα η Norled AS είναι μια εταιρεία κολοσσός φορτηγών αλλά και επιβατηγών πλοίων στη Νορβηγία. Η συγκεκριμένη εταιρεία έχει διαθέσει μεγάλα ποσά για νέους τύπους πλοίων τα οποία η συγκεκριμένη εταιρεία θέλει να είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον και έχει κατασκευάσει λύσεις οι οποίες εφαρμόζονται αποκλειστικά από αυτήν την εταιρεία.

Με το project ZEFF έχει ως στόχο να υλοποιήσει γρήγορα επιβατηγά πλοία τα οποία θα τροφοδοτούνται αποκλειστικά από υδρογόνο. Το συγκεκριμένο πλοίο που θα εφαρμοστεί το ZEFF θα διαθέτει δύο κινητήρες πρόωσης ισχύος 1000 KW έκαστος με κυψέλες καυσίμου ισχύος 2200 KW αλλά και μπαταρία με χωρητικότητα 50 kWh. Ο σχεδιασμός αναφέρει πως το συγκεκριμένο πλοίο θα μπορεί να φιλοξενήσει μέχρι 275 άτομα στη διαδρομή Trondheim-Kristiansund με ταχύτητα 27-45 κόμβους και θα έχει πτερύγια τα οποία θα μειώνουν την αντίσταση του. Το σκάφος είναι έτοιμο προς πώληση από το 2020 και χρειάζεται 45% λιγότερη ισχύ με τη νέα αυτή καινοτόμο μέθοδο.



Εικόνα 4.9: Zero emission fast ferry

Project SEASHUTTLE:

Το συγκεκριμένο project το έχει αναλάβει η εταιρεία Samskip η οποία είναι αρμόδια στην ανάπτυξη πλοίων κυβελών καυσίμου υδρογόνου. Ο κύριος στόχος του project είναι η δημιουργία δύο παράκτιων πλοίων με μηδενικές εκπομπές με δυνατότητα μεταφοράς έως 200 εμπορευματοκιβώτια για σχετικά μικρές διαδρομές μεταξύ όσλο, πολωνίας. Τα συγκεκριμένα πλοία θα είναι πλήρως ηλεκτρικά και τροφοδοτούνται από κυψέλες καυσίμου υδρογόνου, ένω ο μεγαλύτερος στόχος του project είναι η παραγωγή μηδενικών εκπομπών για το 25% όλης της διαδρομής.

Στην ομάδα του έργου συμμετέχει ο πάροχος τεχνολογίας Kongsberg αλλά και πολύπειρες εταιρείες για το υδρογόνο Hyon και Massterly. Με την εγκατάσταση ενός υψηλού βαθμού αυτόνομης τεχνολογίας, τα πλοία Seashuttle θα είναι εφοδιασμένα με μετάδοση κίνησης με πετρέλαιο, συστοιχίες και κυψέλες καυσίμου υδρογόνου, ώστε να βελτιωθεί στο μέγιστο η λειτουργική ευελιξία, προσφέροντας περίπου 40 διαφορετικούς τρόπους προώθησης. Το μέγεθος τώρα κάθε συστήματος προώθησης δεν το γνωρίζουμε ακόμα αλλά διεξάγονται δοκιμές στο εργαστήριο της Kongsberg που προβαίνει σε προσωμοιώσεις τις γεννήτριες, τις γεννήτριες ντίτζελ, και τις προπέλες σε συνδυασμό με μία κυψέλη καυσίμου και συσσωρευτές. [29]

Κεφάλαιο 5^ο: Μελέτης Περίπτωσης Ακτοπλοϊκής Διασύνδεσης Πειραιά – Αίγινας για Μετασκευή Συμβατικού Πλοίου σε Ηλεκτροπροωθούμενο με κυψέλες καυσίμου

5.1 Εισαγωγή

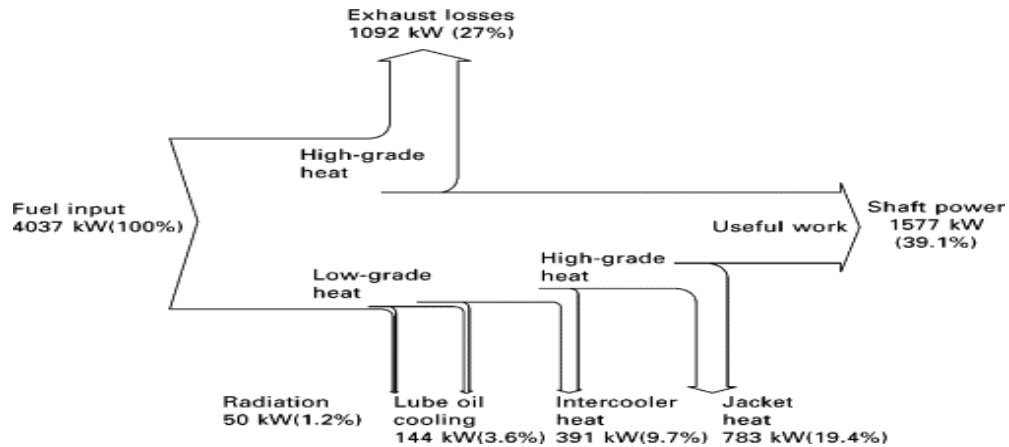
Το υδρογόνο, είναι ένα νέο είδος καυσίμου που να μην έχει μεγάλη θερμοδυναμική ιδιότητα, όμως έχει την ιδιότητα μεγάλης αποθήκευσης ενέργειας. Επιπροσθέτως, θα πρέπει να υπολογισθεί ο βαθμός απόδοσης της κάθε μηχανής στην οποία χρησιμοποιείται το κάθε καύσιμο, προκειμένου να έχουμε μια πρώτη ιδέα για το πόση ενέργεια πλέον παίρνουμε από το κάθε είδος καυσίμου και πόση χάνουμε, άρα, πόσο αποδοτικό είναι το μέσον μας και πότε μπορεί να κάνει απόσβεση, αν κάνει. Για να γίνει κατανοητή η σύγκριση μεταξύ των καυσίμων και της αποδοτικότητάς τους αναλόγως της κινητήριας μηχανής που χρησιμοποιούμε, παραθέτουμε στον πίνακα 5.1 με συγκριτικά στοιχεία.

Πίνακας 5.1 Σύγκριση μεταξύ των καυσίμων και της αποδοτικότητάς τους ανάλογα με την κινητήρια μηχανή

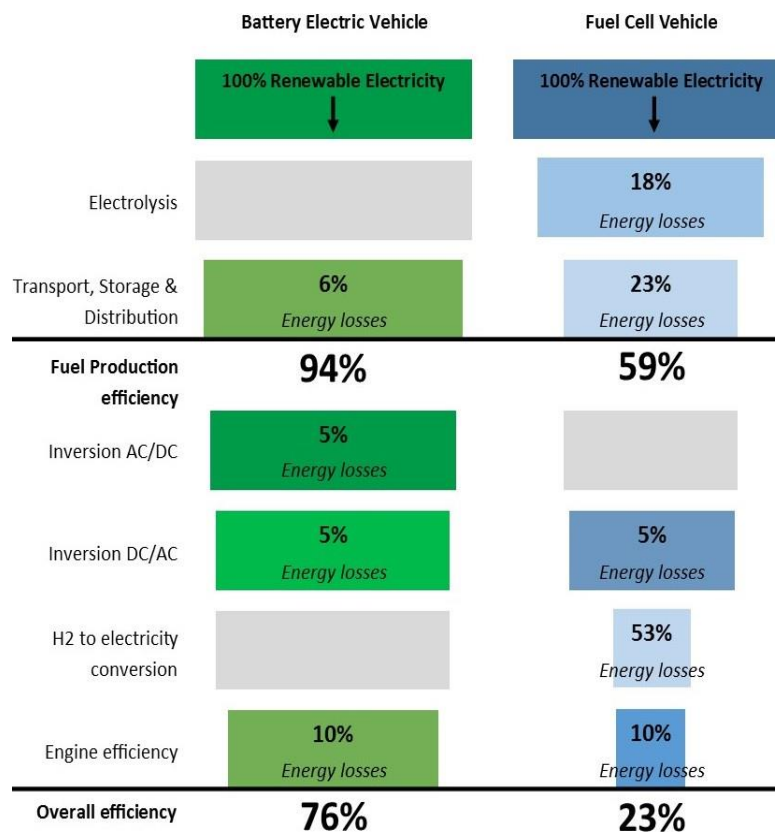
Καύσιμο / Πηγή ενέργειας	Ενέργεια καυσίμου ή πηγής ενέργειας ανά κιλό (KWh/ kg)	Είδος χρησιμοποιούμενου κινητήρα	Απόδοση καυσίμου (%)	Συνολική απόδοση κινητήριου συστήματος (%)	Τεκμηρίωση
Πετρέλαιο	9,16	Κινητήρας Εσωτερικής Καύσης Πετρελαίου (Θερμικός)	40	40	
Βενζίνη	13	Κινητήρας Εσωτερικής Καύσης Βενζίνης (Θερμικός)	30	30	Εικόνα 1 και 2
Μπαταρία	0,079	Ηλεκτρικός Κινητήρας με τροφοδότηση μέσω μπαταριών	94	76	Εικόνα 3
Υδρογόνου	33.3	Ηλεκτρικός Κινητήρας με τροφοδότηση μέσω κυψελών καυσίμου	59	23	Εικόνα 3



Εικόνα 5.1 Απώλειες καύσης βενζίνης



Εικόνα 5.2 Διάγραμμα ροής ισχύος βενζίνης σε Μ.Ε.Κ.



Εικόνα 5.3 Αποδόσεις BEV και FCEV

5.2. Δομικά στοιχεία συστήματος μετασκευής πλοίου

Έχουμε επιλέξει να χρησιμοποιήσουμε προϊόντα της εταιρείας Transfluid SpA και πιο συγκεκριμένα:

1. Ηλεκτρικός κινητήρας (μοτέρ) EM375 πιστοποιημένος από DNV-GL (Εικόνα 4) με χαρακτηριστικά λειτουργίας:
 - 200kW στις 2300 rpm σε συνεχή εργασία (S1-100%)
 - 250kW στις 2300 rpm σε διακοπτόμενη εργασία (S3-10%)
2. Σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (συσσωρευτές) 153.6 kWh στα 384V πιστοποιημένη από DNV-GL για 4500 ώρες λειτουργίας και βάρους 1840 kg (Εικόνα 5)
3. Αρθρωτό σύστημα κυψελών καυσίμου της Transfluid – Genevos HPM - 300 ισχύος 300KW, πιστοποιημένο από Lloyds Register (Εικόνα 6)



Εικόνα 5.4 Αρθρωτό σύστημα κυψελών καυσίμου της Transfluid – Genevos HPM - 300

5.2.1. Ηλεκτρικός Κινητήρας (Μοτέρ) EM375



Εικόνα 5.5 Ηλεκτρικός κινητήρας EM37

Ο ηλεκτροκινητήρας EM375 - 260 kW (στην πραγματικότητα 200kW συνεχούς λειτουργίας και 260KW peak στις 2.300 rpm) της Transfluid είναι αθόρυβος, χαμηλού κόστους και φιλικός προς το περιβάλλον κι έχει σχεδιαστεί για να συνδυάζεται με

υπάρχουσες υποθαλάσσιες μεταδόσεις και Azimuth pods . Η Transfluid είναι μια εταιρεία που εδρεύει στο Gallarate της Λομβαρδίας, εξειδικευμένη στον βιομηχανικό και θαλάσσιο τομέα μεταφορών και αφοσιώθηκε στην θαλάσσια ηλεκτρική πρόωση παρουσιάζοντας αυτόν το νέο κινητήρα.

Η χρήση του προορίζεται για τουριστικά σκάφη, σκάφη εργασίας ή σκάφη πορθμείων και είναι μια καινοτομία που θα καλύψει ένα κενό που υπάρχει στην αγορά στον τομέα της απαραίτητης δύναμης πρόωσης και στη ζήτηση για ηλεκτρική ισχύ. Ο τύπος κινητήρα είναι σύγχρονος τριφασικός κινητήρας μόνιμων μαγνητών (PMSM Permanent Magnet Synchronous Machine), πλήρως αναστρέψιμος με 97% απόδοση, με περιορισμένο βάρος και όγκο. Ψύχεται από κύκλωμα υδρόψυξης με εναλλάκτη θερμότητας κι έτσι επιτρέπει μεγαλύτερη συνεχή ισχύ.

Μπορούμε λοιπόν να αντικαταστήσουμε έναν κινητήρα 350-400 ίππων με αυτόν τον ηλεκτρικό κινητήρα, που όπως και πολλές θαλάσσιες μηχανές εσωτερικής καύσεως τέτοιου μεγέθους, λειτουργεί στις 2.300 στροφές ανά λεπτό και είναι συμβατή με όλους τους ήδη κατασκευασμένους αντιστροφείς (inverters). Σε ό,τι αφορά το κόστος, αυτά ευθυγραμμίζονται με εκείνα των ενδοθερμικών μηχανών, συν τα έξοδα για μπαταρίες, που όμως αποτελούν μια αρχική επένδυση που με την πάροδο του χρόνου, θα αποσβεσθεί. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά πλεονεκτήματα όπως η μείωση του κόστους καυσίμων και η πλήρης λειτουργία χωρίς καμία συντήρηση και θόρυβο.

5.2.2. Σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (συσσωρευτές) 153.6 KWh



Εικόνα 5.6 Σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (συσσωρευτές)

Η μπαταρία της Transfluid είναι η επόμενη γενιά συσσωρευτών για ναυτιλιακές εφαρμογές. Βασίζεται σε κύτταρα φωσφορικού σιδήρου λιθίου (LiFePO₄), μια τεχνολογία που είναι ασφαλής και έχει την καλύτερη αναλογία απόδοσης/κόστους, με ενσωματωμένο (Battery Management System, BMS) για τη διατήρηση των κυττάρων πάντα εξισορροπημένων και αποτελεσματικών. Η μπαταρία αυτή προσφέρει εξαιρετική χρήση κι ευελιξία και μειώνει το συνολικό κόστος, χάρη στη μεγάλη διάρκεια ζωής των 4500 κύκλων λειτουργίας χωρίς συντήρηση δίνοντας την ευκαιρία για γρήγορη φόρτιση με αποτέλεσμα την αύξηση της ημερήσιας διαθέσιμης ενέργειας άρα και τη συνολική απόδοση/εργασία του

σκάφους. Η απουσία εκπομπών και το μεγάλο εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας, κάνουν την μπαταρία της Transfluid ιδανική για κάθε σκάφος εργασίας. Διατίθεται σε διάφορα μεγέθη και χωρητικότητες, και έχει εξοπλιστεί με ειδικά χαρακτηριστικά για την καλύτερη ενσωμάτωση της με τα συστήματα μετάδοσης της Transfluid. Η μπαταρία της Transfluid μπορεί να λειτουργήσει ως αυτόνομος συσσωρευτής ή μπορεί να διασυνδέεται μέσω CAN-bus ή Ethernet με άλλες ηλεκτρονικές συσκευές όπως MPCB, οθόνη, PLC, προκειμένου να εμφανιστούν τα δεδομένα του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας (των μπαταριών) σε μια οθόνη ή για να εφαρμοστεί μια προηγμένη διαχείριση της διαθέσιμης ενέργειας. Χωρίς εκπομπές αερίων κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση, επομένως δεν υπάρχουν ειδικές συνθήκες ή δεν απαιτούνται ξεχωριστοί χώροι αποθήκευσης ή φόρτισης. Μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιοδήποτε μέρος με τη μέγιστη ασφάλεια, κάτι που έχει ήδη πιστοποιηθεί από κορυφαίους νηογνώμονες. Οι μπαταρίες της Transfluid είναι πιστοποιημένες για λειτουργία με εύρος θερμοκρασίας μεταξύ -20°C και $+60^{\circ}\text{C}$ που σημαίνει μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς άλλες απαιτήσεις και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος από -30°C έως $+45^{\circ}\text{C}$, ενώ για τις πιο σοβαρές συνθήκες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται αυτοματισμοί που θα διατηρούν τη μπαταρία στην κατάσταση των προδιαγραφών για μέγιστη απόδοση. Με περισσότερους από 4000 κύκλους, η διάρκεια ζωής είναι 3 φορές μεγαλύτερη από τις παραδοσιακές μπαταρίες και το κόστος ανά κύκλο χαμηλότερο από οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία. Χάρη στην υψηλή τους απόδοση, έως $+25\%$ από τις μπαταρίες μολύβδου, ενέργεια το κόστος και οι εκπομπές CO_2 μειώνονται. Χωρίς ανάγκη συντήρησης και εφοδιασμένες με σύστημα τηλεχειρισμού κάθε μπαταρία Transfluid έχει ενσωματωμένο σύστημα που επιτρέπει τη λήψη ενός ημερήσιου αρχείου καταγραφής όλων των εσωτερικών παραμέτρων λειτουργίας. Αυτός ο έλεγχος αναφέρει την ακριβή κατάσταση της υγείας του καθενός κυττάρου της μπαταρίας του σκάφους. Σε συνδυασμό ταυτόχρονα με το ότι οι μπαταρίες Transfluid δεν χρειάζονται συντήρηση, επιτρέπουν την επιτόπια εξυπηρέτηση και αντικατάσταση σε περίπτωση οποιουδήποτε θέματος μέσω της απομακρυσμένης ολοκληρωμένης διάγνωσης. Το σύστημα μπαταρίας της Transfluid έχει περάσει με επιτυχία όλα τις Δοκιμές του κορυφαίου νηογνώμονα της DNV-GL συμπεριλαμβανομένων των νέων αναγκαστικών δοκιμών για θερμική διαφυγή του 2018 και αυτό την καθιστά συμβατή με την Νορβηγική Ναυτιλιακή Αρχή (NMA).

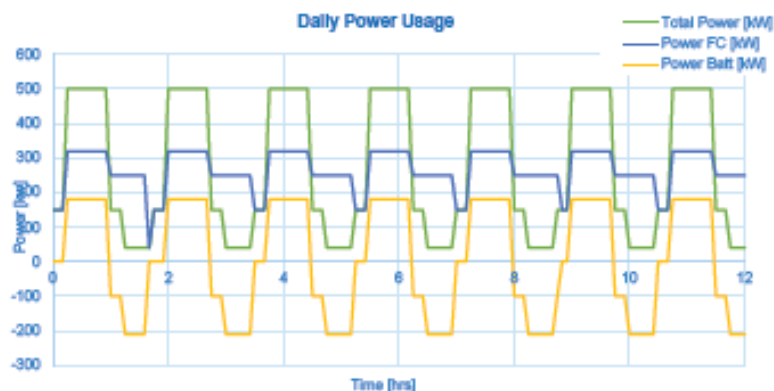
5.2.3. Αρθρωτό σύστημα κυψελών καυσίμου της Transfluid - Genevos ισχύος 300kW



Εικόνα 5.7 :Αρθρωτό σύστημα κυψελών καυσίμου της Transfluid - Genevos ισχύος 300kW

Το HPM είναι ένα πλήρως ενσωματωμένο και αρθρωτό πακέτο (συστοιχία) κυψελών καυσίμου θαλάσσης που παρέχει μια λύση μηδενικών εκπομπών ρύπων για την απο-ανθρακοποίηση των σκαφών. Οι μονάδες διατίθενται σε μεγέθη 15 kW, 30 kW και 40 kW, τα οποία μπορούν να στοιβάζονται σε συστήματα, συνήθως έως 500 kW. Αυτά τα συστήματα

υψηλότερης ισχύος μπορούν να τοποθετηθούν σε κοντέϊνερ για εγκατάσταση στο κατάστρωμα ή να εγκατασταθούν απευθείας στο μηχανοστάσιο και να συνδυαστούν για να παράσχουν υψηλότερη απόδοση ισχύος ανάλογα με τις προσαρμοσμένες ανάγκες του σκάφους. Η χρήση κυψελών καυσίμου για την τροφοδοσία ενός σκάφους σε χαμηλή ταχύτητα (70% μέγιστης ταχύτητας σκάφους) ή σε αδράνεια μπορεί να είναι μια πολύ αποτελεσματική επιλογή μετάβασης στη μείωση των συνολικών εκπομπών άνθρακα ενός σκάφους. Για ένα υβριδικό σκάφος με συνδυασμό μπαταριών & ντίζελ, υπάρχει πάντα μια επιβάρυνση από πλευράς βάρους σε σχέση με την άμεση οδήγηση. Η αντικατάσταση του ντίζελ με μια λύση καθαρού καυσίμου που περιλαμβάνει το HPM και η αποθήκευση ενέργειας σε μορφή υδρογόνου, επιτρέπει τη σύνθεση ενός συστήματος με πολύ υψηλότερη απόδοση σε χαμηλές ταχύτητες κι έτσι η εξοικονόμηση εκπομπών είναι σημαντική. Για παράδειγμα, σ' ένα σκάφος εξυπηρέτησης ενός θαλάσσιου αιολικού πάρκου, η εξοικονόμηση καυσίμων μπορεί να είναι της τάξεως του 45% και των εκπομπών τυπικά μπορεί να είναι έως και 30-35% .



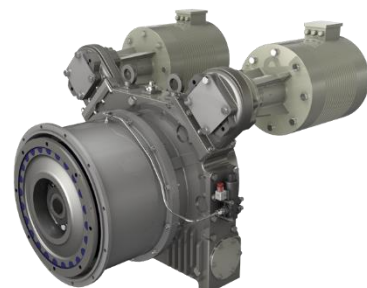
Εικόνα 5.8 Ημερήσια χρησιμοποίηση ισχύος πλοίου εξυπηρέτησης παράκτιου αιολικού πάρκου

5.2.4. Υβριδικό σύστημα HM (Module HM)

Η σειρά υβριδικών συστημάτων HM, είναι σχεδιασμένη με απλότητα κι έχει σχεδιαστεί, για να τοποθετείται σε οποιοδήποτε:

- σκάφος φέρει μηχανή εσωτερικής καύσης, εφόσον διαθέτει χελώνα με πρότυπο SAE και περίβλημα
- τύπο μετάδοσης με πρότυπο SAE,

Βάσει των παραπάνω μπορεί να μετατρέψει οποιοδήποτε σκάφος ή πλοίο σε ένα «πολυτελές» εργαλείο που έχει τη δυνατότητα πλέον να λειτουργεί υπό αυξημένες συνθήκες ασφάλειας (δύο κινητήρες συνδεδεμένοι υδραυλικά σε ένα άξονα, που μπορούν να απομονώνονται μεταξύ τους με το πάτημα ενός κουμπιού) και να διαθέτει πλέον διπλή λειτουργία καθώς είναι σε θέση να λειτουργήσει ως:



- ηλεκτρικός κινητήρας όταν ζητούμε τη λειτουργία ηλεκτροπρόωσης ή
- ηλεκτρική γεννήτρια όταν ζητούμε τη συμβατική πρόωση με θερμική λειτουργία μέσω της μηχανής εσωτερικής καύσεως.

Η σειρά HM έχει σχεδιαστεί με τη βοήθεια των κυριότερων κατασκευαστών επαναφορτιζόμενων μπαταριών και των κυριότερων κατασκευαστών συστημάτων ελέγχου για ηλεκτροκινητήρες μόνιμου μαγνήτη, έτσι ώστε να είναι εύκολη η προσαρμογή μεταξύ διαφορετικών εξαρτημάτων, εξασφαλίζοντας ομαλή επικοινωνία μεταξύ τους.

Η θερμική ισχύς που εγκρίθηκε για τη σειρά HM μπορεί να φθάσει τους 1700 HP ενώ η ηλεκτρική ισχύς μπορεί να φτάσει τα 400 HP χρησιμοποιώντας τέσσερις κεφαλές ως αποσβεστήρες ισχύος για να ταιριάζουν με τους ονομαστικούς κινητήρες των 75 kW (100 HP).

Το σύστημα HM μπορεί εύκολα να εγκατασταθεί σε οποιοδήποτε σύστημα μετάδοσης, όπως μηχανικό ή μεταβλητών ταχυτήτων, υδροστατικής μετάδοσης, θαλάσσιου τύπου κιβώτια ταχυτήτων και Καρδανικούς άξονες.

5.3. Εκτίμηση παραμέτρων σεναρίων λειτουργίας πλοίου

Μελετώντας τα δύο παραπάνω συστήματα τροφοδότησης ηλεκτρικών κινητήρων, είτε το υβριδικό σύστημα μπαταριών- ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (ντίζελ) ή το υβριδικό μπαταριών – κυψελών καυσίμου (υδρογόνου), το οποίο είναι αυτό που θα χρησιμοποιήσουμε και ως παράδειγμα, μπορούμε να παραθέσουμε με ακρίβεια σε οποιονδήποτε ενδιαφερόμενο (π.χ. ιδιοκτήτη σκάφους/πλοίου), τα κέρδη που μπορούν να προκύψουν με την εγκατάσταση / μετατροπή τέτοιων συστημάτων, σε χρονικό ορίζοντα βραχυπρόθεσμο, μεσοπρόθεσμο ή μακροπρόθεσμο, όπως είναι για παράδειγμα οι συντηρήσεις, οι πιθανές βλάβες, οι ρύποι και τα κόστη που θα έχει ένα κλασσικό συμβατικό πλοίο που φέρει μόνο κινητήρες ντίζελ σε αντιπαραβολή με άλλα συστήματα και το οποίο θα είναι το μέτρο σύγκρισής μας στο παρακάτω παράδειγμα.

Έτσι λοιπόν, τώρα πια μπορούμε να υπολογίσουμε με ακρίβεια την ενέργεια που απαιτείται προκειμένου ένα μέσο μεταφοράς να πραγματοποιήσει μια διαδρομή όσο πιο οικονομικά γίνεται αλλά και την χρονική διάρκεια της απόσβεσης μια επένδυσης σε ένα τέτοιο μέσο μεταφοράς.

5.3.1. Παραδοχές Μελέτης Περίπτωσης Μετασκευής Συμβατικού Πλοίου σε Ηλεκτροπροωθούμενο με κυψέλες καυσίμου:

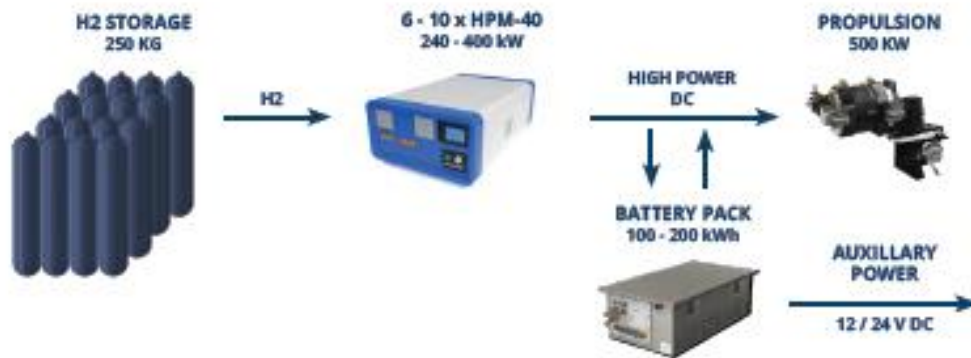
5.3.1.1. Υπολογισμός ενεργειακών αναγκών γραμμής Πειραιά – Αίγινας

Ακτοπλοϊκή γραμμή : Πειραιά – Αίγινας

Διάρκεια ολοκλήρωσης διαδρομής : 80 λεπτά (πλήρες δρομολόγιο)

Επιλογή ηλεκτροκινητήρα:

Αν για παράδειγμα επιλέξουμε ένα ηλεκτρικό πλοίο το οποίο φέρει μια ηλεκτρική μηχανή με σταθερούς μαγνήτες ισχύος 200KW όπως πχ το **EM375** το νέο μοντέλο ηλεκτροκινητήρα (μοτέρ) της εταιρείας TRANSFLUID με απόδοση **97%** και μέγιστη λειτουργία στις 2300 στροφές.



Υπολογισμός απαιτούμενης ενέργειας σε ονομαστικές στροφές 2300 R.P.M. (100%):

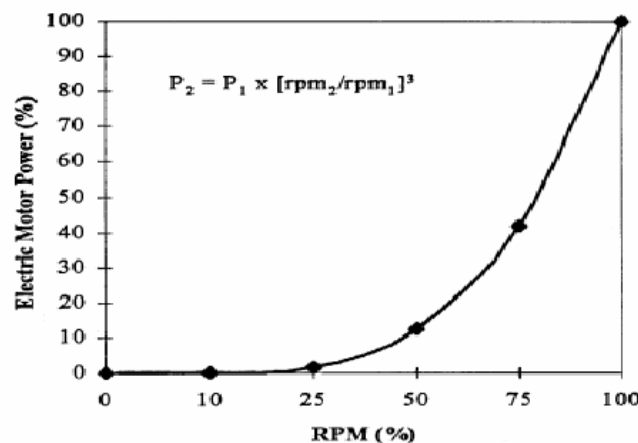
Για κάθε μια ώρα ταξίδι σε πλήρη ταχύτητα θα απαιτεί **200 kWh** ενέργειας.

Αυτό σημαίνει ότι απαιτούνται $200 \text{ kWh} : 33.3 \text{ kWh} / \text{kg} \times 55\% = 10 \text{ Kg}$ υδρογόνου (η απόδοση των κυψελών καυσίμου είναι στο 55%).

Υπολογισμός απαιτούμενης ενέργειας σε μειωμένες στροφές 1610 R.P.M. (70%):

Αν όμως το καράβι μειώσει την ταχύτητα του στο 70% της μέγιστης ταχύτητας του, δηλαδή στο 70% των στροφών του κινητήρα, τότε η ανάγκη για ενέργεια πέφτει στο επίπεδο των **70KWh**, και αυτό διότι σε αυτό το σημείο αιχμής κινητήρα μας απαιτεί ενέργεια ίση μόνο με το **35%** της ονομαστικής του δύναμης (εικόνα 3).

Ταυτόχρονα όμως αυτό μεταφράζεται και στο ότι η απαίτηση για ενέργεια για κάθε μια ώρα ταξιδιού, γίνεται πλέον **70KWh** δηλαδή, $70\text{KWh} : 33.3\text{KWh} / \text{Kg} \times 55\% = 3.8 \text{ Kg}$ υδρογόνου



Εικόνα 5.9 Ποσοστιαία απόδοση ηλεκτρικού κινητήρα συναρτήσει των ποσοστιαίων στροφών

5.3.1.2. Δεδομένα λειτουργίας συμβατικού πλοίου:

Τα πλοία αυτά έχουν συνήθως δύο μηχανές ντίζελ για λόγους ασφάλειας αλλά και για να μην καταπονούν τη μία μηχανή, η οποία πιθανότατα θα επαρκούσε από πλευράς ισχύος για την πρόωση ενός τέτοιου πλοίου, όμως δεν θα μπορούσε ποτέ σε περίπτωση βλάβης να επιτρέψει στο πλοίο να επιστρέψει στη στεριά, με αποτέλεσμα την ακυβερνησία του.

Σε αυτή την περίπτωση δουλεύοντας για αποφυγή καταπονήσεων αλλά και ταχύτητας και τις δύο μηχανές ντίζελ στο 70% της ονομαστικής τους ταχύτητας και ισχύος, καθώς είναι γνωστό πως ένας κινητήρας ντίζελ έχει την καλύτερη απόδοσή του περίπου στο 70 με 75% της ονομαστικής του ταχύτητας με ότι αυτό συνεπάγεται για την υγεία του, τον κύκλο ζωής του, τη συντήρησή του και τα διάφορα μηχανικά του μέρη.

Συνήθως τα σκάφη πορθμείου χρησιμοποιούν κινητήρες ισχύος περίπου στα 400 HP και δεδομένης της γνωστής αντιστοιχίας ισχύος ενός θερμικού κινητήρα και ενός ηλεκτρικού κινητήρα ισχύος 200KW που είναι:

Ένας θερμικός κινητήρας 400HP είναι γνωστό πως ισοδυναμεί με $400 \times 0.746 = 298.4$ KW.

5.3.1.3. Δεδομένα λειτουργίας ηλεκτροπροωθούμενου πλοίου με κυψέλες καυσίμου:



Αν λοιπόν υποθέσουμε ότι το μέσον μας κινείται σε μια γραμμή όπως είναι η γραμμή Πειραιάς – Αίγινα, τότε για να ολοκληρωθεί το ταξίδι των 40 λεπτών, θα απαιτήσει ποσότητα καυσίμου περίπου ίση με $2,53 \text{ Kg υδρογόνου} \times 2 \text{ ηλεκτρικές μηχανές} = 5.06 \text{ Kg υδρογόνου}$.

5.3.2. Υπολογισμός κατανάλωσης συμβατικού καυσίμου (ντίζελ) και αποφυγής ρύπων

Εφόσον όμως μιλούμε για τις ίδιες στροφές λειτουργίας, ένας κινητήρας ισχύος 400 ίππων μπορεί εύκολα να αντικατασταθεί από έναν ηλεκτροκινητήρα **200KW** και όχι **298KW**, καθώς αν παρατηρήσουμε τη σχέση της ροπής που είναι σε άμεση αναλογία με τις στροφές του κινητήρα, τότε μπορούμε να δούμε εύκολα ότι ένας ηλεκτροκινητήρας στα **200KW** μπορεί να είναι ισχυρότερος σε δυνάμεις έως και κατά **2/3** και άρα ικανός να αντικαταστήσει έναν κινητήρα 400 HP .

Έτσι λοιπόν, θα μπορούσαμε να πούμε ότι υπάρχουν δύο τρόποι λειτουργίας του θερμικού κινητήρα:

1. Ως λειτουργία κινητήρα εσωτερικής καύσης για την απευθείας πρόωση του πλοίου, ή
2. Ως λειτουργία ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους (γεννήτριας) που παράγει ηλεκτρική ενέργεια (εφεδρική τροφοδότηση ηλεκτρικών κινητήρων)

Στην πρώτη περίπτωση η κατανάλωση θα είναι περίπου ίση με:

$$GPH = (0.4 \times 298) / 7.2 = 120 / 7.2 = 16.6 \text{ GPH} = 62.84 \text{ άρα } \mathbf{62.84 \text{ lt/h} \times 2 = 125,68 \text{ lt/h}}$$

Συνεπώς, η κατανάλωση του πλοίου θα ήταν για τα 40 λεπτά περίπου

$$125,68 \cdot \frac{40}{60} = 83.79 \text{ lt} \approx 84 \text{ lt} \text{ για κάθε κινητήρα ή διπλασιαζόμενη } 168 \text{ lt ανά ταξίδι για κάθε κινητήρα.}$$

Στη δεύτερη περίπτωση λαμβάνουμε υπόψη την ειδική κατανάλωση καυσίμου (specific fuel consumption, *SFC*), το οποίο δίνεται από τον κατασκευαστή της μηχανής και περιγράφεται εξ αρχής στα στοιχεία της και στο εγχειρίδιο λειτουργίας της.

Συνηθίζεται να χρησιμοποιείται 0,21 kg/kW·h αντί του 0,18 kg/kW·h που τυπικά αναφέρεται στα κατασκευαστικά στοιχεία των μηχανών και χρησιμοποιείται η σχέση:

$$\text{kW} \times \text{SFC} = \text{kg/h}$$

Έτσι μια γεννήτρια 300 KW θα καταναλώνει : $300 \times 0.21 = 63 \text{ kg/h}$ και με βάση την πυκνότητα του ντίζελ που είναι 0,84 θα έχουμε $63 / 0.84 = 75 \text{ lt/h}$.

Εδώ πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι σε ένα σύστημα με φαινομένη ισχύ 100 kVA με συντελεστή απόδοσης 0,8 αντιστοιχεί πραγματική ισχύς 80 kW. Κατ' επέκταση για τα 298KW απαιτούνται 372 KVA.

Σε όλα αυτά τα κόστη θα πρέπει να προσθέσουμε και τις επιβλαβείς για τον ανθρώπινο παράγοντα εκπομπές ρύπων, καθώς και το κόστος που θα πρέπει να επωμισθεί μια εταιρεία με βάση τους νέους κανονισμούς που παρατίθενται παρακάτω:

Actual emissions: Engines

These pollutant totals represent the information you entered on the blue tabs.

Pollutant	Engine 1 (ton/yr)	Engine 2 (ton/yr)	Engine 3 (ton/yr)	Engine 4 (ton/yr)	Engine 5 (ton/yr)	Actual Emissions (ton/yr)	Opt. D Permit Limits (ton/yr)	
Criteria Air Pollutants								
PM	0,78	0,78				1,56	50	
PM10	0,78	0,78				1,56	50	
PM2.5	0,78	0,78				1,56	50	
SOx	0,73	0,73				1,46	50	
NOx	11,11	11,11				22,23	50	
VOC	0,91	0,91				1,81	50	
CO	2,39	2,39				4,79	50	
Lead						0,00	0,5	
Greenhouse Gas Emissions								
CO ₂	410,90	410,90				821,79		
CH ₄	0,02	0,02				0,03		
N ₂ O	0,00	0,00				0,01		
GHG Total CO ₂ e						0,00	50000	
Hazardous Air Pollutants								
1,1,2,2-tetrachloroethane								
1,1,2-trichloroethane								
1,3-butadiene	0,0001	0,0001				0,0002		
1,3-dichloropropene								
Acetaldehyde	0,0019	0,0019				0,0039		
Acrolein	0,0002	0,0002				0,0005		
Benzene	0,0024	0,0024				0,0047		
Biphenyl								
Carbon tetrachloride								
Chlorobenzene								
Chloroform								
Ethylbenzene								
Ethylene dibromide								
Formaldehyde	0,0030	0,0030				0,0059		
Hexane								
Methanol								
Methylene chloride								
Naphthalene	0,0002	0,0002				0,0004		
PAH	0,0004	0,0004				0,0008		
Phenol								
Styrene								
Tetrachloroethane								
Toluene	0,0010	0,0010				0,0021		
Vinyl chloride								
Xylene	0,0007	0,0007				0,0014		
HAP Indiv. Max	Formaldehyde						0,0059	5
HAP total							0,0200	12,5

Potential emissions: Engines

These pollutant totals represent the information you entered on the blue tabs.

Pollutant	Engine 1 (ton/yr)	Engine 2 (ton/yr)	Engine 3 (ton/yr)	Engine 4 (ton/yr)	Engine 5 (ton/yr)	Potential Emissions (ton/yr)	Permitting Threshold (ton/yr)	
Criteria Air Pollutants								
PM	0,22	0,22				0,43	100	
PM10	0,22	0,22				0,43	25	
PM2.5	0,22	0,22				0,43	100	
SOx	0,20	0,20				0,41	50	
NOx	3,09	3,09				6,17	100	
VOC	0,25	0,25				0,50	100	
CO	0,67	0,67				1,33	100	
Lead						0,00	0,5	
Greenhouse Gas Emissions								
CO ₂	114,14	114,14				228,28		
CH ₄	0,00	0,00				0,0093		
N ₂ O	0,00	0,00				0,0019		
GHG total CO ₂ e						229,06	100000	
Hazardous Air Pollutants								
1,1,2,2-tetrachloroethane								
1,1,2-trichloroethane								
1,3-butadiene	0,0000	0,0000				0,0001		
1,3-dichloropropene								
Acetaldehyde	0,0005	0,0005				0,0011		
Acrolein	0,0001	0,0001				0,0001		
Benzene	0,0007	0,0007				0,0013		
Biphenyl								
Carbon tetrachloride								
Chlorobenzene								
Chloroform								
Ethylbenzene								
Ethylene dibromide								
Formaldehyde	0,0008	0,0008				0,0017		
Hexane								
Methanol								
Methylene chloride								
Naphthalene	0,0001	0,0001				0,0001		
PAH	0,0001	0,0001				0,0002		
Phenol								
Styrene								
Tetrachloroethane								
Toluene	0,0003	0,0003				0,0006		
Vinyl chloride								
Xylene	0,0002	0,0002				0,0004		
HAP Indiv. Max	Formaldehyde						0,0017	10
HAP total							0,0055	25

5.3.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΡΥΠΩΝ ΑΝΑ ΣΕΝΑΡΙΟ

Αρχικά ο χρόνος ενός πλήρους δρομολογίου Πειραιά-Αίγινα είναι 80 λεπτά. Έχουν διαμορφωθεί τρία πιθανά σενάρια (αναλόγως των τρόπων τροφοδότησης ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και τρόπους πρόωσης που χρησιμοποιούμε) ανά πλήρες δρομολόγιο.

- Το πρώτο σενάριο αντιστοιχεί σε 40λεπτη λειτουργία του πλοίου ως ηλεκτροπροωθούμενο και 40 λεπτά ως συμβατικό.
- Το δεύτερο σενάριο αντιστοιχεί σε 80λεπτη λειτουργία ως συμβατικό πλοίο.
- Το τρίτο σενάριο αντιστοιχεί σε 80λεπτη λειτουργία ως ηλεκτροπροωθούμενο.

Στην συνέχεια αναπαρίστανται οι κάτωθι υπολογισμοί σε σχέση με τους παραμέτρους σεναρίων λειτουργίας πλοίου ανά ταξίδι καθώς και ο κύριος στόχος αυτών των παραδοχών που είναι να δούμε την εξοικονόμηση που έχουμε στους ρύπους ανά σενάριο:

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΛΟΙΟΥ ΑΝΑ ΤΑΞΙΔΙ						
Σενάριο	e (min)	e: H (kg)	d (min)	Κατανάλωση Diesel (lt)	Εξοικονόμηση Diesel (lt)	Εξοικονόμηση Diesel (kg)
1	40	5.6	40	83.33333333	83.33333333	72.5
2	0	0	80	166.6666667	0	0
3	80	11.2	0	0	166.6666667	145

ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΡΥΠΩΝ ΑΝΑ ΤΑΞΙΔΙ (kg/ταξίδι)						
Σενάριο	CO ₂	CO	HC	SO ₂	NO _x	Σωματίδια
1	227.795	0.04147	0.013848	0.05075	0.17284	0.020735
2	0	0	0	0	0	0
3	455.59	0.08294	0.027695	0.1015	0.34568	0.04147

Οι παραδοχές που ελήφθησαν υπόψη είναι οι ακόλουθες:

Λειτουργία πλοίου	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ / ΩΡΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ / ΛΕΠΤΟ
Πρόωση μόνο με Μ.Ε.Κ. (πετρέλαιο)	125 lt/h	2.083333 lt/min
Λειτουργία Μ.Ε.Κ. μόνο ως Η/Ζ (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας) (πετρέλαιο)	75 lt/h	1.25 lt/min
Πρόωση μόνο με κυψέλες καυσίμου (υδρογόνο)	8.4 kg/h (5.6 kg / 40 min)	0.14 kg /min

5.4. Συμπεράσματα και βασικές επισημάνσεις υλοποίησης μετασκευής

Ένα πλοίο που θα χρησιμοποιεί κυψέλες καυσίμου και θα έχει υδρογόνο, αναγκαστικά θα πρέπει να έχει και μπαταρίες, καθώς οι κυψέλες καυσίμου ξεκινούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, μετά από 30 δευτερόλεπτα, οπότε το πλοίο θα πρέπει να έχει πάντοτε ενέργεια ώστε να καλύπτει τις βασικές ενεργειακές ανάγκες του.

Το κάθε κιλό παραγόμενου υδρογόνου απαιτεί 55KWh ενέργειας για να παραχθεί, δηλαδή από μια πλευρά δεν μπορούμε να ισχυρισθούμε ότι είναι δωρεάν, απλώς μπορούμε να ισχυριστούμε ότι είναι πολύ εύκολο να παραχθεί όπου το χρειαζόμαστε αν χρησιμοποιήσουμε φωτοβολταϊκά πλαίσια ή ανεμογεννήτριες, πάντοτε σε σύγκριση με τις εξορύξεις που απαιτούν μεγάλες επενδύσεις, χιλιάδες ανθρώπους, εκατομμύρια κινδύνους και πολλά άλλα.

Η καύση υδρογόνου σε μηχανές εσωτερικής καύσεως είναι μη αποδοτική αλλά και επικίνδυνη καθώς υπάρχουν τεράστιες εκπομπές οξειδίων του Αζώτου (NOx) .

Στο παρόν δεν περιλαμβάνεται η σύγκριση μεταξύ ντίζελ και υβριδικού συστήματος ντίζελ – μπαταριών, καθώς ένα τέτοιο παράδειγμα και τα στοιχεία του μπορούν να αναζητηθούν στην ήδη εφαρμοσμένη μελέτη του ΠΑΔΑ για το έργο «1ο Υβριδικό πλοίο σύνδεσης πορθμείων Αιγίου – Αγίου Νικολάου Δωρίδας».

Εν κατακλείδι, είναι προφανές ότι ο εκάστοτε πλοιοκτήτης από τη μια πλευρά θα επενδύσει κάποιο ποσό για την μετασκευή του πλοίου, αλλά από την άλλη πλευρά θα επωφεληθεί από την μετασκευή του σε ηλεκτροπροωθούμενο, αποφεύγοντας τα κόστη της αγοράς του καυσίμου, των ρύπων και της συντήρησης που συνοδεύουν τους θερμικούς κινητήρες, επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα έναν ικανοποιητικό χρόνο απόσβεσης της επένδυσής του.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Με βασικό κριτήριο τόσο τις αποφάσεις για περιορισμό των εκπομπών ρύπανσης του περιβάλλοντος και τα ήδη υφιστάμενα περιβαλλοντικά προβλήματα και την ανάγκη για βιώσιμη και καθαρή ενέργεια στη ναυτιλία η ηλεκτροπρόωση τίθεται στο επίκεντρο ενδιαφέροντος της ναυτιλιακής βιομηχανίας προκειμένου να περάσει σε μια νέα εποχή λειτουργίας της, φιλική προς το περιβάλλον.
- Οι προηγμένες στρατηγικές ελέγχου κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων που έχουν προσφάτως ερευνηθεί κι εφαρμοστεί σε ναυτιλιακές εφαρμογές για την συμβατική πρόωση, κατέληξαν ότι έχουμε μειωμένα επίπεδα κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών ρύπων κατά 15–35% για συγκεκριμένες περιπτώσεις, συνεπώς επιδιώκοντας την συμμόρφωση με τα επίπεδα μείωσης εκπομπών που έχουν ήδη τεθεί παγκοσμίως, μοναδική λύση φαίνεται να είναι η μερική ή η ολική αντικατάσταση των μηχανών εσωτερικής καύσεως, από ηλεκτρικούς κινητήρες, μετασκευάζοντας σε υβριδικά ή αμιγώς ηλεκτροπροωθούμενα τα υπάρχοντα πλοία. Άλλες βελτιώσεις, μπορούν να επέλθουν χρησιμοποιώντας μπαταρίες για αύξηση της αυτονομίας των πλοίων αποθηκεύοντας ενέργεια ή κυψέλες καυσίμου για την εν πλω παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και φόρτισης των μπαταριών, αυξάνοντας ακόμη περισσότερο την διαθεσιμότητα πρόωσης και ελετώνοντας το κόστος λειτουργίας και συντήρησης των υβριδικών συστημάτων ισχύος και πρόωσης. Τα συστήματα συστοιχιών κυψελών καυσίμου (Fuel Cells) έχοντας ήδη κάποιες εφαρμογές σε πλοία, δείχνει ότι θα αποτελέσει μελλοντικά μια ιδιαίτερος θελκτική και ενδιαφέρουσα εναλλακτική για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε πλοία κάθε μεγέθους, αφού διαθέτουν τη δυνατότητα αποτελεσματικότερης και καθαρότερης λειτουργίας συγκρινόμενη είτε με τον συμβατικό κινητήρα εσωτερικής καύσης ή τους αεριοστροβίλους. Επιπροσθέτως, μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα Πλήρως Εξηλεκτρισμένο Πλοίο (All Electric Ship), το οποίο αναδύεται πλέον ως το είδος που θα επικρατήσει μελλοντικά στον ναυτιλιακό τομέα.
- Το PEMFC (τύπος κυψέλης καυσίμου) έχει εισαχθεί σχετικά πρόσφατα στην αγορά. Ανάμεσα στις διαθέσιμες τεχνολογίες κυψελών καυσίμου, το PEMFC θεωρείται η βέλτιστη τεχνολογική λύση για θαλάσσιες εφαρμογές λόγω των πλεονεκτημάτων του (ηλεκτρολύτης στερεάς μορφής, υψηλό επίπεδο απόδοσης και σε χαμηλά φορτία, χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας, άμεση εκκίνηση, ισχύ υψηλής πυκνότητας, χαμηλό θόρυβο και μηδενικές εκπομπές ρύπων).
- Οι μηδενικές εκπομπές είναι επιτεύξιμες στα πλοία με υβριδικά συστήματα κυψελών καυσίμου με καύσιμο το υδρογόνο για παραγωγή και αποθήκευση ενέργειας σε συστοιχίες μπαταριών, τροφοδοτούμενα από συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που έχουν εγκατασταθεί στο πλοίο ή ενσύρματα από αντίστοιχες επίγειες εγκαταστάσεις, μέσω του ηλεκτρικού δικτύου των λιμένων. Η βελτίωση των τεχνολογιών αποθήκευσης υδρογόνου εξελίσσεται ραγδαία με αποτέλεσμα την διαρκή αύξηση που κατέχει στην αγορά.
- Η απόδοση του υβριδικού συστήματος με κυψέλες καυσίμου και η ενεργειακή κατανάλωση εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το σύστημα διαχείρισης ενέργειας (Energy Management System - EMS) και τον τρόπο διαχείρισης που εφαρμόζει για το

λειτουργικό προφίλ του πλοίου.

- Σε μια μετασκευή ενός συμβατικού πλοίου είναι αναγκαία και η εκτίμηση του κόστους της μελλοντικής συντήρησης και αντικατάστασης τόσο των κυψελών καυσίμου όσο και των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας για να ληφθεί υπόψη στη συνάρτηση κόστους για την βελτιστοποίησης μεγέθους εξαιτίας του υψηλού κόστους και του σύντομου κύκλου ζωής τους συγκρίνοντάς τα με τις συμβατικές πηγές ισχύος.
- Στην Ελληνική ακτογραμμή υπάρχουν πολλές περιοχές όπου η απόσταση μεταξύ λιμένων είναι σχετικά μικρή, όπως Πέραμα – Σαλαμίνα, Ρίο – Αντίρριο και πληθώρα άλλων πορθμειακών ζεύξεων, οι οποίες αποτελούν ιδανικές περιπτώσεις για να επικεντρωθεί το ενδιαφέρον του ναυτιλιακού χώρου για άμεση εφαρμογή τέτοιων υβριδικών ηλεκτροπροωθούμενων πλοίων με κυψέλες καυσίμου, προκειμένου να μειωθεί άμεσα η περιβαλλοντική ρύπανση των θαλασσών μας.

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

- [1]: Jan Fredrick Hansen, «Modeling and control of Marine power Systems»diploma thesis.
- [2]:Νικόλαος Γ. Μπαϊραχτάρης, «Μελέτη και κατασκευή συστήματος ελέγχου ηλεκτροκίνητου μικρού πλωτού μέσου μεταφοράς», διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Τμήμα Ναυπηγών Μηχανικών, 2009.
- [3]: Ν. Π. Κυρτάτος Καθηγητής ΕΜΠ, «Βασικές Αρχές Πρόωσης Πλοίων», σημειώσεις εργαστηρίου ναυπηγικής μηχανολογίας, Ιανουάριος 2006.
- [4]: Ι.Μ. Προυσαλίδης Επ. Καθηγητής ΕΜΠ, ΔΡ Ι. Κ. Χατζηλάου, «Εξηλεκτρισμός στα πλοία»,Μάρτιος 2009.
- [5]: Προυσαλίδης Ι., «Πλοία με έντονο εξηλεκτρισμό και ηλεκτρική πρόωση: Σύγχρονες Προκλήσεις και το έργο Marine Live.»Ναυτικά Χρονικά, τεύχος 148 σελ. 48-50.
- [6]: Πατατάς Άγγελος, «Ηλεκτροπρόωση σε πλοία», διπλωματική εργασία, Ακαδημία εμπορικού ναυτικού Κρήτης μηχανικών.
- [7]: Νικόλαος Σ. Κορακιανίτης Κείμενο «Η χρήση της ηλεκτροπρόωσης στα πλοία», Οκτώβριος 2020 <https://www.metadosi-ischios.gr/i-chrisi-tis-ilektroproosis-sta-ploia/>
- [8]: Ιωάννης Ευστάθιος Αναστασίου, Ιωάννης Μ. Προυσαλίδης, «Μελέτη Εφαρμογών Υβριδικής Πρόωσης με τη Χρήση Αξονικών Γεννητριών στις καταστάσεις PTI/PTO/BOOST», Διπλωματική Εργασία 2018.
- [9]: Κιαμούρης Ευάγγελος, Παπασταμούλης Αθανάσιος, «Ηλεκτρική Πρόωση και Χρήση της στη Ναυτιλία», Διπλωματική Εργασία 2012.
- [10]: Cold ironing cost effectiveness port of Long Beach 925 harbor drive Long Beach Report 2004
- [11]: www.iso.org
- [12]: A cold Ironing Study on Modern Ports, Implementation and benefits Papoutsoglou, 2012
- [13]: www.polb.com/
- [14]: www.onshorepowersupply.org/
- [15]: <https://www.naftikachronika.gr/2019/08/19/i-norsepower-tha-exoplisei-me-to-systima-rotor-sail-ena-yvridiko-ferry/>
- [16]: <https://www.isalos.net/2019/07/mia-nea-yvridiki-lysi-gia-fortiga-ploia/>
- [17]: Cold ironing Schematic Pawanexh kohli 14 July 2009
- [18]: Νοτόπουλος Δημήτριος, «Κυψέλες Καυσίμου στην Ηλεκτροπρόωση –Μετατροπείς Ισχύος του Συστήματος», Διπλωματική εργασία 2016
- [19]: Κοκκίνης Γρηγόριος, «Η εφαρμογή των Κυψελών Καυσίμου στη Ναυτιλία», Διπλωματική εργασία 2019
- [20]:<https://www.isalos.net/2016/12/i-technologie-kypselon-kafsimou-dokimastike-epitychia-se-dyo-ploia/>
- [21]: Δημήτρης Κριτούλης, «Πηγές Ηλεκτρικής Ενέργειας πλοίων. Κύριες και Εφεδρικές»Διπλωματική εργασία 2016
- [22]: Βωβός Νικόλαος, Εξελιγμένα Δίκτυα Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας, Πανεπιστήμιο Πατρών
- [23]: Ντοκόπουλος Πέτρος, Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καταναλωτών - Σύμφωνα με το νέο κανονισμό ΕΛΟΤ HD 384, ΖΗΤΗ 2005
- [24]: Νομικός Δημήτρης, Συστήματα αδιάλειπτης προστασίας – UPS, Nigico Power Electronics A.E.

[25]: Τόμος Δεύτερος, Ηλεκτρικές Μηχανές, Δρ. Βλάχου Γ. Αριστείδη, Καθηγητή Ηλεκτρολόγου μηχανικού ΑΕΝ Ασπρόπυργου

[26]: Άρθρο Υβριδικά-Πλοία, Κορακιανίτης Σ. Νικόλαος

[27]: Μπαρδής Πέτρος, «Ασφαλέστερα πιο έξυπνα και πράσινα πλοία χρησιμοποιώντας υβριδική τεχνολογία», Διατριβή Ιούνιος 2021

[28]: Άρθρο ηλεκτροπρόωση στα πλοία, Κορακιανίτης Σ. Νικόλαος.

[29]: Μπακαλάρος Ανδρέας, «Εφαρμογές Κυψελών Καυσίμου στη Ναυτιλία-Προοπτικές για Μεγάλης Ισχύος Μονάδες», Διπλωματική εργασία μεταπτυχιακού επιπέδου, Δεκέμβριος 2019

[30]: Review «Fuel Cell Power Systems for Maritime Applications: Progress and Perspectives», Hui xing, Charles Stuart, Stephen Spence, Hua Chen

[31]: Σενάριο Μετασκευής συμβατικού πλοίου εταιρείας Plofos Co Ltd., CEO Αποστολόπουλος Ανδρέας.

Παράρτημα Α Παραμετροποίηση μοντέλου Σύγχρονου Κινητήρα Μόνιμου Μαγνήτη (PMSM) 3-kW

Εισάγεται στο Workspace

```
% Parameters file for SPS model: power_motordrive_PMSM_FOC.slx
%% SPS sample time (s)
Ts=20e-6;
%% Motor parameters
%
Rs = 0.2;      % Stator resistance per phase      (Ohm)
La = 2.057e-3; % Armature inductance                (H)
lambda = 0.175; % Flux linkage established by magnets (V.s)
p = 3;        % Number of pole pairs
J = 0.01;     % Rotor inertia                    (Kg.m^2)
F = 0.005;    % Friction coefficient              (N.m.s)
Vdc_nom = 400; % Nominal DC voltage (V)
%
%% Control parameters
%
% Speed regulator
Kp_wreg=0.25; % Proportional gain
Ki_wreg=25;   % Integral gain
Limit_wreg=20; % Regulator output limit
%
% Current regulator
Kp_Ireg=0.2;  % Proportional gain
Ki_Ireg=10;   % Integral gain
Limit_Ireg=2/sqrt(3); % Regulator output limit
%
Fsw=8000;    % SVPWM switching frequency (Hz)
%
%%
```

Παράρτημα Β Ενδεικτικός κώδικας για το μοντέλο παραγωγής υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης νερού

Αρχαία Παραμετροποίησης μοντέλων παραγωγής υδρογόνου με ηλεκτρόλυση νερού.

Parameter_File.m

```
%%% Hydrogen Properties
Hydrogen_Prop_File;

%%% Solar Data
load('solarProfile.mat');

%%% Thermodynamic Energy
TDS = 48.7e3; % Entropy Reaction (@298K)
DH = 285.8e3; % Enthalpy Water (@298K)
theta0 = 298; % Reference Temperature (K)
dT_setpoint = 8;

%%% Stack Properties
Plate.X = 50; %cm
Plate.Y = 100; %cm
Plate.Z = 100; %cm
Electrolyzer.Np_electrodes = 3; %pair
Electrolyzer.N_cell = 50;
Electrolyzer.Temp_vect = linspace(273.15, 353.15, 5);
Electrolyzer.Efficiency_vect = linspace(0.55,0.9,5);
Electrolyzer.AreaMembrane = (Plate.Y*Plate.Z)*Electrolyzer.Np_electrodes;
Electrolyzer.Xd = 2.0; %cm

%%% Tank Properties
Tank.Area = (Plate.X*Plate.Y)*Electrolyzer.Np_electrodes;
Tank.Volume = Tank.Area*(Plate.Z*1.25);
H2_Tank.Volume = 100*100*100; %cm^3
H2_Tank.T_storage = 273.15;

%%% Electric Properties
Electric.Resistance = 0.25; %Ohm
Heat.Resistance = 25; %Ohm

%%% DC-DC converter Properties
DCDC_converter.I_vect = [0, 400, 1000];
DCDC_converter.eff_vect = [90, 95, 98];
Solar.Area = 25*25; %m^2
Temp_vect_heat = [0 50 75 100]+273.15;
I_vect_heat = [100 75 0 0];

%%% Control Parameters
Control.InitVoltage = 100;
Control.Slope = 750/(10*60);
Control.T_filter = 30;
Control.Vnom = 1000;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%% Parameters used for green_hydrogen_Battery model
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

irradiance = 1000;
temperature = 25;
Ts = 10;
```



```
Ts_Control = 1;
```

```
%%% Battery Data
```

```
Battery.Qn = 50000;
Battery.Qinit = 50000;
Battery.Q1 = Battery.Qn*0.5;
Battery.Rs = 0.2;
Battery.Un = 240;
Battery.U1 = 210;
```

```
Operation_Ref.Ie = [100 95 75 12.5 12.5];
Operation_Ref.Isolar = [0 500 700 750 1000];
Converter.Iout = [40 80 120];
Converter.Efficiency = [95 98 100];
```

Περιεχόμενα του solarProfile.mat

Row	Value
1	4
2	4
3	4
4	4
5	4
6	4
7	1204
8	2.7604e+04
9	94404
10	155804
11	202804
12	210404
13	205204
14	188404
15	138404
16	71604
17	16004
18	4
19	4
20	4
21	4
22	4
23	4
24	4
25	4
26	4
27	4

Περιεχόμενα του Hydrogen_Prop_File.m

```
%%% Data for properties of hydrogen
```

```
load('h2_data.mat');
```

```
%%% Hydrogen properties (Semiperfect)
```

```
T_vect = [-75 -50 -25 0 25 50 75 100]+273.15; %K
h_vect = [2532 2875 3224 3578 3936 4295 4655 5017];%kJ/kg
nu_vect = [6.77 7.34 7.88 8.42 8.94 9.44 9.93 10.41]; %s*uPa
cond_vect = [132.4 146.8 160.5 173.4 185.6 197.5 210.1 222.0]; %mW/kg/K
cp_vect = [13.57 13.87 14.08 14.23 14.33 14.4 14.45 14.47]; %kJ/kg/K
```

```
%%% Hydrogen properties (Perfect)
```

```
R_h2 = 4.12; %kJ/kg/K
h_h2 = h_vect(5); % kJ/kg;
cp_h2 = cp_vect(5); %kJ/kg/K
nu_h2 = nu_vect(5); %s*uPa
cond_h2 = cond_vect(5); %mW/m/K
```